

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О.Ф. Луговський
(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2020 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

з спеціальності **131 Прикладна механіка**

(код і назва)

на тему: **Ультразвуковий кавітаційний пристрій для активування палива**

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-61-2
(шифр групи)

Штика Денис Ігорович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проф., д-р. техн.наук Луговський олександр федорович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці _____
(назва розділу) ст.викладач Ковтун А.І. _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н. доц. Кореньков В.М. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут механіко-машинобудівний
(повна назва)

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) О.Ф. Луговський
(прізвище ініціали)

“ _____ ” _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту**

Штика Денис Ігорович

1. Тема проекту Ультразвуковий кавітаційний пристрій для активування палива

керівник проекту: Луговський Олександр Федорович, д-р техн. наук, професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету від “ 20 ” травня 2020 року № 1120-с

2. Термін подання студентом проекту «10» червня 2020р.

3. Вихідні дані до проекту

1. Технічні вимоги до майбутнього кавітаційного пристрою.

2. Умови, в яких використовуватиметься пристрій

4. Зміст пояснювальної записки

- Способи підвищення інтенсивності ультразвуку у паливній рідині
- Розгляд схеми гідравлічного концентратора
- Розрахунок 1-хвильового ультразвукового концентратора
- Розрахунок гідравлічного концентратора
- Експериментальне дослідження кавітаційного поля.
- Технологічний розділ.

- Заходи по забезпеченню вимог охорони праці та техніки безпеки на робочому місці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

1. Конструкції циліндричних та конічних гідравлічних концентраторів – 1 аркуш.
2. Загальний вигляд віброприводу – 1 аркуш.
3. Загальний вигляд корпусу – 1 аркуш.
4. Загальний вигляд ультразвуковий активатору палива – 2 аркуші.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	ст.викл. Ковтун А.І.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	<u>Примітка</u>
1.	Вирішення загальних питань машинобудування. Постановка та аналіз проблеми.	31.12.2019	
2.	Розрахунок кавітаційного пристрою	1.04.2020	
3.	Проектування кавітаційного пристрою	1.05.2020	
4.	Експериментальні дослідження кавітаційного поля	15.05.2020	
5.	Технологія машинобудування	1.06.2020	
6.	Рекомендації стосовно забезпечення охорони праці та техніки безпеки на робочому місці	10.06.2020	

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Дипломний проект на тему: «Ультразвуковий кавітаційний пристрій для активування палива», складається із шести розділів, пояснювальна записка містить 53 сторінки, включно із 24 рисунками і 1 таблицею, та 4 листа формату A1 для графічного матеріалу. Мета дипломної роботи це розрахунок кавітаційного пристрою і його використання для кавітації палива щоб активувати його.

Активоване паливо більш ефективно згорає і майже не залишає шкідливих викидів. Обробка палива за допомогою кавітатора може замінити звичайну хімічну обробку, в результаті чого зменшиться час на обробку і кількість витратних матеріалів. Тому можна зробити висновок застосування цієї розробки буде економічно вигідним.

Annotation

Project on the topic: "Ultrasonic cavitation device for fuel activation", consists of six sections, the explanatory note contains 53 pages, including 24 figures and 1 table, and 4 sheets of A1 format for graphic material. The purpose of the thesis is to calculate the cavitation device and its use for fuel cavitation to activate it.

Activated fuel burns more efficiently and leaves almost no harmful emissions. Fuel treatment with a cavitator can replace conventional chemical treatment, which will reduce processing time and the amount of consumables. Therefore, it is possible to conclude that the application of this development will be cost-effective.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Ультразвуковий кавітаційний пристрій для активування палива

Київ – 2020 рік

Зміст

Вступ.....	7
Ультразвукова кавітація палива	7
Розділ I.....	15
1.1 Способи підвищення інтенсивності ультразвуку у паливній рідині	15
Розділ II.....	27
2.1Схема гідравлічного концентратора та його опис.....	27
Розділ III	36
3.1 Теоретичні розрахунки	36
3.2 –Хвильовий ультразвуковий концентратор	36
Розділ IV	43
4.1Розрахунок гідравлічного концентратора.....	43
Розділ V	48
5.1Експериментальні дослідження.....	48
VI. Технологія машинобудування.....	55
6.1. Постановка задачі.....	55
6.2. Вибір та обґрунтування конструкції заготовки	56
6.3. Визначення серійності виробництва.	57
6.4. Проектування технологічного процесу.....	59
6.5. Визначення режимів різання	62
6.6. Висновки.....	63
VII. Заходи з охорони праці.....	63
7.1 Електробезпека виробничого приміщення	63
7.2Освітлення виробничого приміщення.....	71
7.3. Пожежна безпека виробничого приміщення.....	73
7.4 Шум	76

					<i>МА612.ДП00.001.ПЗ.</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Штика Д.І.</i>						
Перевір.		<i>Луговський О.Ф.</i>						
Т. Контр.								
Реценз.								
Н. Контр.					<i>НТУУ «КПІ»</i>			
Затверд.								

Висновки.....	78
Список використаної літератури.....	79

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Ультразвукова кавітація палива

Феномен кавітації був відкритим академіком Леонардом Ейлером[1]. Він ніколи не бачив це явище на практиці, але зміг теоретично пояснити можливість розриву рідини через локальне падіння тиску з подальшим схлопуванням порожнеч. Пізніше експериментальним та теоретичним шляхом[2-9] було встановлено, що утворення кавітаційних бульбашок-порожнин у рідині відбувається тоді, коли місцевий тиск опускається нижче певного критичного значення, що відповідає межі кавітації

Зазвичай критичне значення тиску трохи нижче, ніж тиск насиченої пари при заданій температурі. Кавітаційні бульбашки, наповнені парами, газами або їх сумішами, коли потрапляють в зону високого тиску, починають різко схлопуватися. В таких випадках з'являються ударні імпульси, тиск яких досягає 10^3 МПа, а температура піднімається до 1000°C [10,11].

Високий рівень споживання палива та сам процес видобування нафти негативно впливають на навколишнє середовище. В умовах зростання населення та зміни клімату потрібно більш ефективно та раціонально використовувати паливні ресурси. Одним із шляхів підвищення ефективності споживання паливних ресурсів є застосування додаткової обробки палива фізичними полями різної природи, наприклад, магнітного або акустичного з метою активування палива та зменшення викидів газів у атмосферу.

Сьогодні для активування палива широко використовують різноманітні хімічні каталізатори. Але сучасні дослідження впливу кавітації на рідини, показують, що даний процес може прискорити або відтворити ефект хімічних

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каталізаторів і навіть викликати фізичні і фізико-хімічні процеси, на які хімічні каталізатори не здатні.

Наприклад, у воді при ультразвуковій кавітації утворюється перекис водню. В такому середовищі багато органічних речовин розкладаються. Це є одним із механізмів знезараження води. Вплив ультразвукової кавітації на нафту при кімнатній температурі викликає реакції, які зазвичай проходять під час термічного крекінгу (високотемпературна переробка нафти для отримання пального). Також ультразвук використовують для виготовлення різних композитів та емульсій.

У інтенсивній звуковій хвилі поява кавітаційних бульбашок відбувається під час напівперіодів розрідження, а їх схлопування в напівперіодах стиснення. В цьому випадку кавітаційний бульбашка, яка виникає в період напіврозпаду розряду через інерцію рідини, може не встигнути закритися в період напіврозпаду стиснення. В таких випадках, бульбашка лише трохи зменшує свій радіус і, таким чином, здійснюючи пульсуючі рухи, може пропустити один або кілька періодів напіврозпаду стиснення. У бульбашці відбувається свого роду накопичення енергії, після чого відбувається швидке її вивільнення при схлопуванні. Таким чином, на короткий момент виділяється потужність набагато вище, ніж середня потужність, яку ультразвуковий випромінювач вводить в рідину.

В роботі [13] було показано, що середня щільність енергії і питома потужність, які відповідають моменту схлопування кавітаційного бульбашки в воді під дією звукових коливань, в 10^5 і 10^3 рази перевищують параметри хвилі збудження.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільший вплив на суцільність рідини створюють незалежно існуючі парогазові бульбашки або парогазові бульбашки, які розташовані в мікросекціях твердих нерозчинних поверхонь. Можливість тривалого існування в рідині незалежних парогазових бульбашок пояснюється іонною теорією [14,15], згідно з якою стбільне існування бульбашки відбувається завдяки рівномірному розташуванню зарядів з однаковим потенціалом на її поверхні. Заряди з однаковим потенціалом відштовхуються і не дозволяють бульбашці закритися [16,17]. Ці домішки, потрапляючи в область зниженого тиску, діють як джерела кавітації [4,13,19,20,21].

Ефект кавітації є наслідком втрати стійкості під впливом зниженого тиску в звуковій хвилі. Збільшення розміру бульбашки відбувається через внутрішній тиск парогазової суміші, яка в напівперіоді розрядження перевищує зовнішній тиск рідини, через дифузію газу в бульбашку з рідини і через випаровування рідини з внутрішньої поверхні бульбашки. Переважання того чи іншого механізму зростання бульбашок залежить від частоти хвилі тиску і газонасиченості рідини.

При високих частотах коливань в рідині з низьким газонасиченням в області температур, що далекі від точки кипіння, основним фактором зростання бульбашки є періодичне перевищення внутрішнього тиску бульбашки над зовнішнім тиском.

Механізм дифузії є основним в області низьких частот коливань, коли існує невелика швидкість зміни тиску в рідині зі значною газонасиченістю. Оскільки концентрація газу в бульбашці зменшується через поступове збільшення його розміру, газ дифундує з рідини в бульбашку. У напівперіод збільшення тиску розмір бульбашки зменшується і відбувається дифузія газу із

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бульбашки в рідину. Оскільки кількість дифундуючого газу пропорційна площі поверхні бульбашки, яка більша в фазі зростання бульбашки, в цілому протягом періоду коливань, викликаних процесом випрямленої дифузії, спостерігається збільшення маси газу. в міхурі і відповідне поступове збільшення його розміру [22].

Якщо звукова хвиля випромінюється в рідину, температура якої близька до точки кипіння, то основним фактором збільшення розміру бульбашки є випаровування рідини. У напівперіод розрядження через перепад тиску і відповідного примусового збільшення розміру бульбашки рідина випаровується з внутрішньої поверхні бульбашки. Випаровування призводить до охолодження поверхні бульбашки і парогазової суміші в ній. Різниця температур забезпечує приплив теплової енергії до поверхні бульбашки, який створює ефект випрямленої теплопередачі який забезпечує зростання розмірів бульбашки.

Наведений механізм випаровування є головним чинником зростання достатньо малих за розмірами зародків кавітації. Якщо радіус бульбашки перевищує 10^{-7} м, то зростання розмірів бульбашки пов'язано головним чином з неадіабатичністю процесу зміни стану речовини в бульбашці. Наслідком цього є виділення в бульбашці додаткової енергії, яка викликає нагрів і відповідне випаровування рідини в бульбашку.

Створити ультразвукову кавітацію можуть лише зародки певного інтервалу розмірів.

Нижня границя вказаного інтервалу обмежена розміром бульбашки, який визначається залежністю [13]:

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{кр} = \sqrt{3} R_0 \left[\frac{R_0}{2\sigma} \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \right]^{\frac{1}{2}},$$

де σ - коефіцієнт поверхневого натягу; R_0 - початковий радіус бульбашки; p_0 - гідростатичний тиск.

Наведена формула справедливий за умови коли тиск насичених парів дуже малий порівняно з амплітудним звуковим тиском.

Верхня границя обмежена розмірами зародків, власна частота яких дорівнює частоті збуджуючої звукової хвилі. Резонансний розмір зародка та частота коливань пов'язані залежністю [13,21]

$$(2\pi f)^2 = \frac{3\gamma_a}{\rho_p R_{рез}^2} \left(p_a + \frac{2\sigma}{R_{рез}} \right),$$

де f - частота ультразвукових коливань; $R_{рез}$ - резонансний розмір зародка; γ_a - показник адіабати; ρ_p - густина незбуреної рідини; p_a - звуковий тиск, що створюється звуковим полем.

Зі збільшенням частоти коливань при незмінних інших умовах значення $R_{рез}$ зменшується, що свідчить про зменшення ймовірності кавітації на високих частотах через звуження інтервалу потрібного розміру ядер. Тому при коливальних частотах, що дорівнюють десяткам МГц, ультразвукова кавітація та пов'язаний з цим фізико-хімічний ефект не спостерігаються.

У стоячій ультразвуковій хвилі ядра кавітації, які є меншими $R_{рез}$, пульсують у фазі з коливаннями тиску, а при розмірах, що перевищують це,

вони переміщуються до місць високого тиску. Швидкість таких рухів визначається залежністю [10]

$$v_{\text{пер}} = \frac{R_0^2}{10\mu \left(p_0 + \frac{4\sigma}{3R_0} \right)} p_a \frac{\partial p_a}{\partial x},$$

де μ - коефіцієнт в'язкості рідини; x - просторова координата.

Поступальний рух бульбашок до вузлів стоячій ультразвукової хвилі приводить до коагуляції бульбашок в них, збільшення їх розмірів і утворення кавітаційних порожнин, розміри яких значно менше, ніж при гідродинамічній кавітації. При створенні стоячій хвилі деформації максимальна інтенсивність звуку і зона найбільш розвиненою кавітації знаходяться на поверхні ультразвукового випромінювача. В цьому випадку в процесі кавітації беруть участь всі зародки, задіяні як на поверхні емітера, так і в самій рідині.

У разі ультразвукової хвилі що біжить, кавітаційні бульбашки рухаються в напрямку поширення хвилі. Тобто існує так зване звукове повітря, під впливом якого бульбашки потрапляють із зони інтенсивного звуку на вібруючу поверхню випромінювача. Якщо ультразвукові хвилі надходять від декількох випромінювачів фокусуються, то в фокусній плямі відбувається концентрація ультразвукової енергії і поява зони розвинутої кавітації, яка харчується постійно наближаються зародками. В цьому випадку кавітаційні зародки на поверхні емітерів або корпусі кавітационної камери в процесі кавітації не беруть участь.

Із зони розвинутої кавітації, що виникла в фокусній плямі або на поверхні плоского випромінювача в камері з стоячою хвилею деформації, постійно витягуються джгути або важкі кавітаційні бульбашоки.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Адіабатичне стиснення парогазової суміші в кавітаційній бульбашці призводить до значного локального підвищення температури, що призводить до іонізації газу і появи світіння бульбашок, що називається звуковим світінням.

Високий рівень споживання палива та сам процес видобування нафти негативно впливають на навколишнє середовище. В умовах зростання населення та зміни клімату потрібно більш ефективно та раціонально використовувати паливні ресурси. Одним із шляхів підвищення ефективності споживання паливних ресурсів є застосування додаткової обробки палива фізичними полями різної природи, наприклад, магнітного або акустичного з метою активування палива та зменшення викидів газів у атмосферу.

Кавітація – це процес утворення в рідині за рахунок падіння тиску порожнин, заповнених парогазовою сумішшю, які при підвищенні тиску схлопуються з локальним підвищенням тиску до 1000 МПа та температури до 1000 С⁰, утворенням потужних кумулятивних мікроструменів, мікротечій та ударних хвиль. В даному випадку ми розглядаємо акустичну кавітацію, яка виникає при введенні в рідину акустичної хвилі, інтенсивність якої перевищує поріг виникнення кавітації в рідині при даному тиску насиченої пари.

Сьогодні для активування палива широко використовують різноманітні хімічні каталізатори. Але сучасні дослідження впливу кавітації на рідини, показують, що даний процес може прискорити або відтворити ефект хімічних каталізаторів і навіть викликати фізичні і фізико-хімічні процеси, на які хімічні каталізатори не здатні.

Наприклад, у воді при ультразвуковій кавітації утворюється перекис водню. В такому середовищі багато органічних речовин розкладаються. Це є одним із механізмів знезараження води. Вплив ультразвукової кавітації на нафту при кімнатній температурі викликає реакції, які зазвичай проходять під час термічного крекінгу (високотемпературна переробка нафти для отримання пального). Також ультразвук використовують для виготовлення різних композитів та емульсій.[22]

За даними Міжнародної асоціації автовиробників (OICA), станом на 2015 рік, у світі експлуатувалося більше 1,25 млрд. автомобілів[23]. При такій кількості автомобілів навіть незначне підвищення ефективності пального помітно знизить кількість споживання палива, що є дуже важливим в сучасних умовах надмірного впливу людини на природу і клімат. Пристрій для ультразвукової кавітації має компактні габарити, які залежать від необхідної

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

продуктивності, тобто він може бути габаритним і використовуватись при промисловому виробництві палива або ж встановлюватись у автомобіль, де матиме менші розміри і активувуватиме пальне безпосередньо перед подачею у двигун, тим самим зберігаючи отримані фізико-хімічні властивості пального.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Розділ I

1.1 Способи підвищення інтенсивності ультразвуку у паливній рідині

Технології ультразвукової кавітації широко застосовуються в різних галузях машинобудування, приладобудування, медицини та сільського господарства [23, 24]. Активно розвивається напрямок, пов'язаний зі створенням технологічних пристроїв для здійснення процесу дезінфекції води за допомогою ультразвукової кавітації [25, 26].

Експериментальні дослідження [25] встановили, що рівень інтенсивності ультразвукової хвилі, що вводиться в рідину, визначає кількісний та якісний склад знищених мікроорганізмів. Збільшення інтенсивності ультразвукових коливань збільшує різноманітність і збільшує кількість мікроорганізмів і бактерій, які гинуть під час проходження хвилі кавітації. Навпаки, зниження інтенсивності нижче 2 Вт / см² стимулює ріст мікроорганізмів.

Найбільш шкідливий вплив ультразвуку спостерігається, коли довжина хвилі ультразвуку порівнянна з розміром мікроорганізмів, що піддаються впливу звуку [25].

Існує чотири основні механізми дії ультразвуку на мікроорганізми в рідкому середовищі:

- руйнівна дія кумулятивного потоку, що виникає при згортанні кавітаційних бульбашок, розташованих у безпосередній близькості від мікроорганізму;
- тепловий ефект, викликаний місцевим підвищенням температури при згортанні кавітаційних бульбашок;
- пошкодження, спричинені різницею тиску по довжині хвилі ультразвуку;
- активізація окислювальних процесів у сфері кавітації.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки феномен кавітації є найважливішим у процесі ультразвукової дезінфекції рідин, виникає проблема створення технологічного обладнання, що дозволяє впроваджувати ультразвук у камеру кавітації інтенсивністю 30 Вт / см² і більше при щільності енергії більше 0,2 Вт / см³.

Для досягнення високого рівня продуктивності такі пристрої повинні відповідати ряду конкретних вимог:

- підтримка вдосконаленої кавітації у всьому обсязі технологічної камери;
- забезпечення високопродуктивного введення ультразвукової хвилі в рідину з високим рівнем інтенсивності та щільності;
- забезпечення технологічної стійкості кавітаційної камери та контролерів резонансу.

Відомі способи підвищення інтенсивності кавітації, що полягають у підвищенні статичного тиску, штучному насиченні води кавітаційними порожнинами, контролю температурі рідини, а також пульсуючої низькочастотної ультразвукової модуляції сигналу.

Розберемо шляхи вирішення проблем, пов'язаних зі створенням ультразвукового технологічного обладнання для знезараження кавітаційної води.

Існує кілька варіантів побудови кавітаційних камер, які можна використовувати для здійснення технологічного процесу дезінфекції води ультразвуковою кавітацією.

Відкриті кавітаційні ванни широко поширені (рис. 1.1). Ці ванни, як правило, використовують випромінювач хвиль з низькою половиною амплітудою, щоб викликати кавітацію. Випромінювачі встановлюються на нижній або бічній поверхні ванни. Співпраця випромінювачів може бути

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усунена завдяки невеликій товщині стінок ванни, при якій високочастотні коливання вигину не збуджуються в стінах. У таких ваннах інтенсивність ультразвуку становить 8,10 Вт / см².

Амплітуда коливань випромінюючої поверхні резонансних зразків становить близько 5 мкм



Рис.1.1. Кавітаційна ванна з $\frac{1}{2}$ -хвильовими резонансними приводами-випромінювачами, встановленими на дні

Підвищити інтенсивність ультразвукових коливань неможливо, оскільки на випромінюючій поверхні приводів з'являється шар кавітації (рис. 1.2), що завдяки двофазній фазі призводить до зниження опору звукового навантаження.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рис.1.2. Картина розповсюдження кавітаційних зон по глибині ванни при донному розташуванні джерела коливань

Кавітаційний шар парів і газів перешкоджає проникненню ультразвукових коливань у рідину. Максимальна інтенсивність ультразвуку спостерігається лише біля випромінюючої поверхні резонансного приводу. Інтенсивна кавітація на вібраційній поверхні радіатора призводить до швидкої ерозії та руйнування робочої поверхні. Тонкі стінки кавітаційної камери не дозволяють використовувати високий статичний тиск для посилення кавітаційних процесів.

Таким чином, відкриті тонкостінні непроточні ванни не дозволяють проводити якісну дезінфекцію рідини навіть при низькій ефективності, а тому вони корисні лише в процесах очищення і миття кавітації з різними функціями.

Відомі проточні кавітаційні камери з товстими стінками [24] (рис. 1.3) виконані у вигляді трубки з випромінювальними приводами, встановленими на

поверхнях. У цьому випадку можна використовувати як приводи низької амплітуди, так і високої амплітуди, що за формою нагадують ножі.

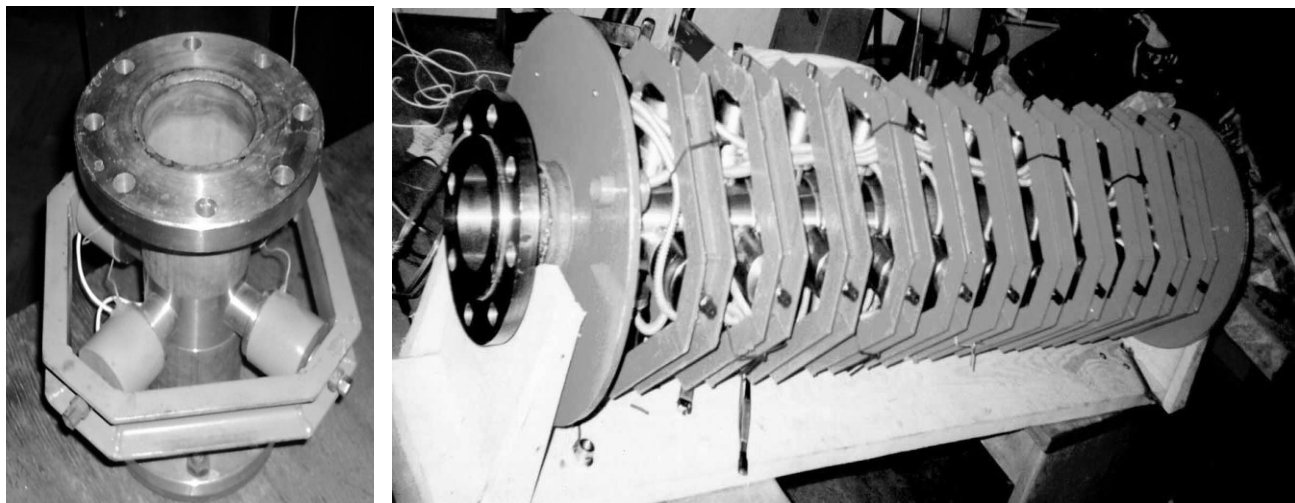


Рис.1.3. Односекційна та багатосекційна проточні товстостінні кавітаційні камери

Ультразвукові приводи збуджують в трубі радіально-згинальні пружні коливання. Характерна картина ультразвукового поля в поперечному перерізі такої труби представлена на рис.1.4.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

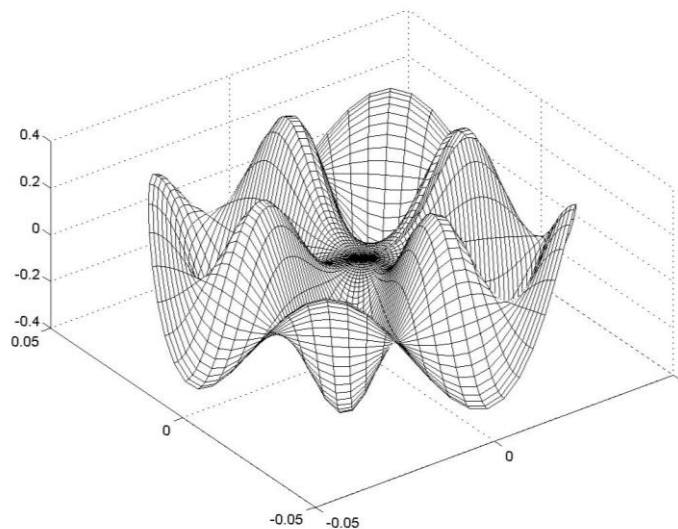


Рис.1.4. Форма ультразвукового поля в циліндричній камері при збудженні радіально-згинальних коливань поверхні (чотири привода – випромінювача; друга мода коливань)

Для усунення взаємодії приводів випромінювача та досягнення максимальної ефективності коливань труби підбирають її розміри резонансу, а пускачі встановлюють у протилежності деформаційної хвилі та підключають до генератора електричних коливань з урахуванням фази. Такі камери дозволяють переробляти рідину при підвищеному статичному тиску. Як і в попередньому випадку, такі конструкції не дозволяють ефективно вводити у рідину ультразвукові коливання інтенсивністю більше 10 Вт / см².

Спроба збільшити інтенсивність коливань призводить до появи шару парових бульбашок на внутрішній поверхні труби. Підвищення щільності ультразвуку досягається за рахунок збільшення кількості циліндрів у секції та збільшення кількості секцій, встановлених уздовж труби.

Такі кавітаційні камери зручні для обробки рідини в потоці. Вони дозволяють отримувати високоякісні емульсії, що не розшаровуються, дозволяють активізувати хімічні процеси тощо. Однак вони не є високоякісними стерилізаторами.

Значного локального збільшення інтенсивності звуку можна досягти шляхом фокусування ультразвукових коливань уздовж осі трубки або у фокусі акустичної лінзи конденсатора.

Пристрої з напівсферичною акустичною лінзою (рис. 1.5) через низьку продуктивність використовуються лише для наукових цілей. Вони дозволяють досягти інтенсивності звуку в зоні зосередження 200 Вт / см^2 і більше. Однак здійснити дезінфекцію рідини в потоці з ними дуже важко.

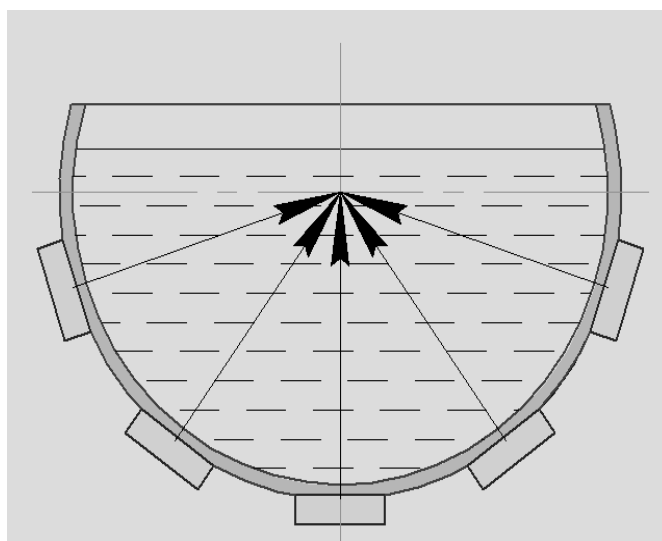


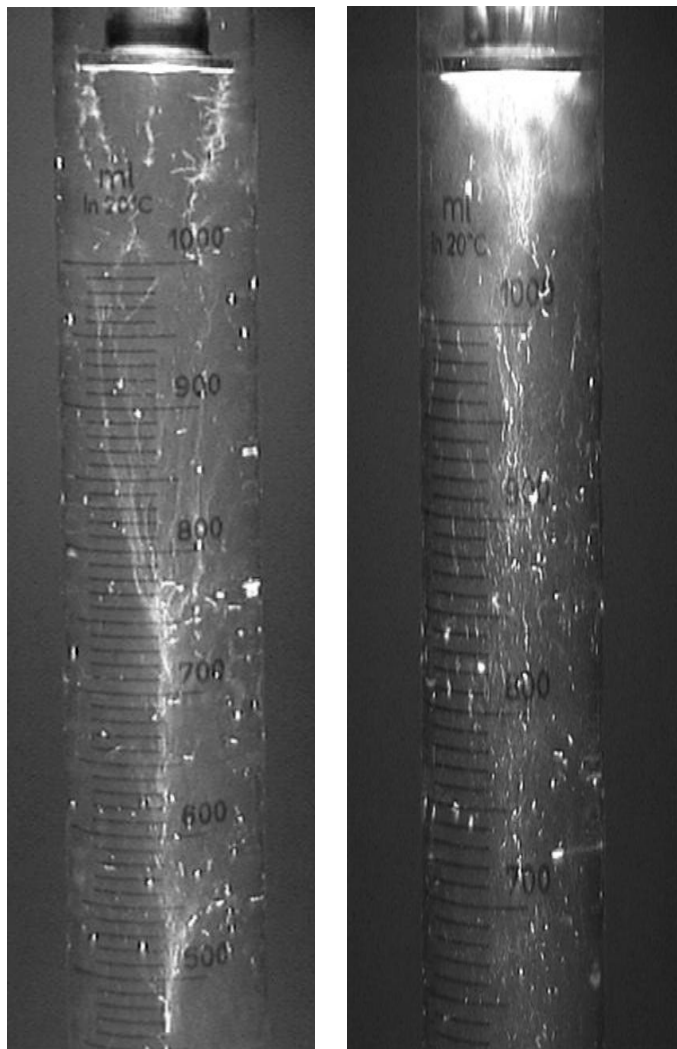
Рис.1.5. Ультразвуковий кавітаційний апарат з фокусуванням коливань в точці

Фокусування вздовж осі труби може бути здійснено за допомогою резонансного приводу з високою амплітудою, який випромінює ультразвукові

коливання уздовж циліндричної осі камери (рис. 1.6a). Конструктивне збільшення поверхні випромінення дозволяє забезпечити досить високу доставлену потужність, при хорошій координації з навантаженням.

У таких технологічних пристроях у центральній частині циліндричної камери інтенсивність звуку може бути збільшена до 30 ... 50 Вт / см². Подальше збільшення поданої енергії призводить до утворення шару газу на випромінюючій поверхні та зниження ефективності введення у рідину ультразвукових коливань (рис. 1.6b).

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



а)

б)

*Рис.1.6. Картина випромінювання
ультразвукових коливань
високоамплітудним приводом вздовж
осі циліндричної камери при
інтенсивності звуку 18 Вт/см^2 (а) і
 28 Вт/см^2 (б)*

Концентрація ультразвукової енергії вздовж циліндричної осі проточної камери також може бути досягнута, викликаючи режим радіального коливання

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

камери. Кавітаційна камера виконана у вигляді набору акустично відокремлених та герметичних кілець, на поверхні яких встановлені радіатори з ножовими трансформаторами швидкості (рис. 1.7). У цьому випадку через велику площу поверхні випромінювання в рідині вона може отримувати набагато вищий рівень ультразвукової енергії (рис. 1.8).

Кавітаційний шар не утворюється на внутрішній поверхні кілець, а слабка ерозія кавітації, яка випромінюється внутрішньою поверхнею кілець, забезпечує живучість кавітаційної камери.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

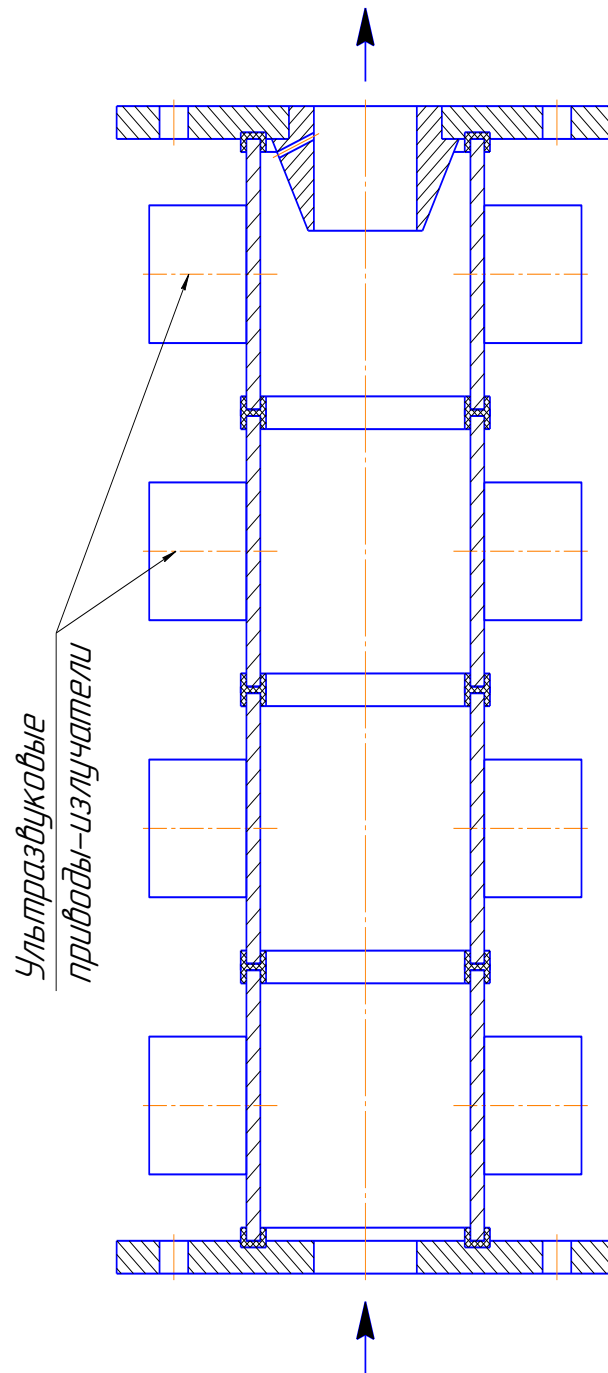


Рис.1.7. Кавітаційний проточний апарат з радіальними коливаннями акустично розв'язаних циліндричних кілець

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цій схемі вдається забезпечити інтенсивність звуку $50 \dots 100 \text{ Вт/см}^2$. У камері відбувається рух рідини тільки по осі камери, тобто через область з максимальною інтенсивністю кавітації.

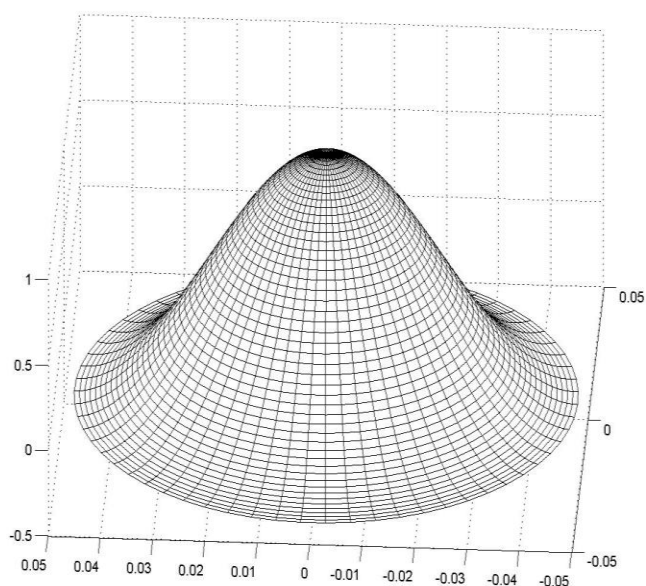


Рис. 1.8. Форма ультразвукового поля в циліндричній камері при збудженні радіальних коливань

З викладеного вище можна зробити висновок, що для процесу кавітаційного збагачення палива найбільш прийнятні апарати з проточною циліндричною кавітаційною камерою, що забезпечують концентрацію ультразвукової енергії уздовж осі камери.

При цьому для продуктивності до 100 л/хв і споживаної потужності до 500 Вт можна реалізувати апарати з осьовим розташуванням випромінювача, а при великій продуктивності - апарати з радіальними коливаннями кілець. Вказані агрегати якнайповніше відповідають описаним вимогам.

Розділ II

2.1Схема гідравлічного концентратора та його опис

Гідравлічний концентратор використовує ультразвукову енергію і може бути використаний у різних галузях промисловості, зокрема в процесах, що протікають у рідкому середовищі, таких як дезінфекція рідин, тобто знищення вірусів та мікроорганізмів, створення якісних стабільних емульсій, очищення стічних вод, холодна стічна вода, активація рідини. і пальне тощо.

Для вдосконалення технологічних процесів, пов'язаних з рідиною, використовуйте різноманітні фізичні фактори, такі як ультразвукові коливання, які діють на ці процеси за допомогою так званих ефектів першого порядку (частота, інтенсивність тощо) та ефектів другого порядку, до яких насамперед належить кавітація.

Ефективність такого використання ультразвукових коливань багато в чому залежить від режимів ультразвукової енергії та особливостей побудови технологічних пристроїв, що реалізують ці технології.

Наше завдання - підвищити ефективність очищення рідини за рахунок вдосконалення існуючого ультразвукового пристрою для очищення рідини, що включає вертикально розміщений порожній корпус із нижньою торцевою поверхнею та впускними та вихідними насадками, ультразвуковий радіатор з розвиненою поверхнею випромінювання, прикріпленою до верху. деформація з утворенням герметичної порожнини та можливістю випромінювання ультразвукових хвиль у напрямку до нижньої поверхні, яка паралельна поверхні випромінювання на відстані кратного непарного числа чверті довжини стоячих ультразвукових хвиль у рідині.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Щоб вирішити цю проблему в ультразвуковому пристрої для обробки рідини, порожній корпус виготовляється зі змінною площею поперечного перерізу, а ультразвуковий випромінювач знаходиться в цій частині корпусу з максимальною площею поперечного перерізу і знизу формується торцева поверхня з найменшою площею перерізу. Вхідний патрубок розміщений на корпусі над поверхнею випромінювання ультразвукового випромінювача, вихідний патрубок розташовується в корпусі біля нижньої поверхні і з'єднується з порожниною корпусу через отвори для дроселювання.

Конструкція корпусу, із змінною площею поперечного перерізу порожнини, дозволяє організувати гідравлічний трансформатор в корпусі зі швидкісними коливаннями, що забезпечить високу концентрацію ультразвукової енергії.

Дросельні отвори збільшують внутрішній тиск у пристрої і, таким чином, підвищують його ефективність при використанні на зливних лініях, наприклад, на крані приватного споживача питної води.

Альтернативно, порожнистий корпус може бути виконано циліндричним ступінчастим кроком з плавним переходом більшого діаметру до меншого діаметру, а перехід більшого діаметра в менший діаметр розташований від поверхні випромінювання ультразвукового випромінювача на відстані, кратному внутрішній поверхні. канавки, наприклад у вигляді невеликих ниток.

Така конструкція корпусу дозволить отримати меншу площу поверхні декількох секцій з максимальною інтенсивністю коливань, при якій рідина поступово інтенсивно проникатиме.

Ця форма швидкого трансформатора є найбільш технологічною.

Використання меншої площі невеликих канавок призведе до:

- по-перше, додаткова рідка турбулентність, яка покращить її змішування;

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- по-друге, це дозволить іншому кавітаційному стрижню зберігатися в зонах кавітації, які інакше переносяться потоком рідини у вихідну трубку.

Це збільшить інтенсивність явищ кавітації.

Сутність рідинного ультразвукового концентратора енергії пояснюється на рисунках, на яких рис. 1 - схема ультразвукового пристрою для обробки рідин; рис. 2 - збільшений вигляд донної поверхні з дросельними отворами та дрібною різьбою на поверхні ступеню меншого діаметру.

Пристрій складається з (рис. 2.1) вертикально розміщеного порожнистого корпусу 1 з нижньою торцевою поверхнею 2 (рис. 2.2), вхідним отвором 3 і випускним отвором 4. У верхній частині корпусу 1 розташований ультразвуковий випромінювач, утворений випромінювальною накладкою. 5, демпферна колодка 6 п'єзокерамічних елементів 7, які механічно стискаються гайкою 8. Електроди п'єзоелектричних елементів з'єднані з електричним генератором ультразвукових вібрацій (не показано на малюнку). Випромінююча пластина 5 має конічну форму з формуванням за рахунок розширення розвиненої поверхні випромінювання 9. Товщина накладок 5, 6 та п'єзоелектричних елементів 7 обчислюється таким чином, що при встановленні стоячої довжини хвилі пружної деформації ультразвукової хвилі 10 Цією вузловою точкою ультразвукового випромінювач закріплений в корпусі 1, ущільнювачі 11 утворюють герметичну порожнину 12 і можливість випромінювання ультразвукових хвиль у напрямку до нижньої поверхні 2 (рис 2.2) яка розташована паралельно поверхні випромінювання 9 на відстані кратній непарній кількості чвертей довжини стоячих ультразвукових хвиль 13 (безперервна лінія) у рідині. Порожнинний корпус 1 виконано зі змінною

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

площею поперечного перерізу порожнини, причому ультразвуковий випромінювач розташований в частині корпусу 1 з максимальною площею перерізу порожнини, а торцева донна поверхня 2 (рис.2.2) утворена в частині корпусу з мінімальною площею перерізу порожнини. Вхідний патрубок 3 розміщений на корпусі 1 вище поверхні випромінювання 9 ультразвукового випромінювача, вихідний патрубок 4 розташований в корпусі 1 в зоні донної поверхні 2 (рис.2.2) і сполучений з порожниною корпусу 1 через дросельні отвори 14 (рис.2.2).

Альтернативно, корпус 1 порожнини виконаний циліндричними сходами з плавним переходом більшого діаметра тупінь 15 меншого діаметру, причому перехід ступеню більшого діаметру в ступінь 15 меншого діаметру розташований від поверхні випромінювання 9 ультразвукового випромінювача на відстані кратній непарній кількості чвертей довжини стоячих ультразвукових хвиль у рідині, а на внутрішній поверхні ступеню 15 меншого діаметру нанесені дрібні канавки, наприклад, у вигляді дрібної різьби 16 (рис.2.2).

Пристрій працює наступним чином. Рідина, яка потребує кавітаційної обробки, перекачується через пристрій за допомогою вхідного патрубку 3 та вихідного 4. Завдяки наявності дросельних отворів 14 (рис. 2.2) в порожнині корпусу 1 утворюється підвищений статичний тиск. При цьому, завдяки герметичному кріпленню ультразвукового випромінювача за допомогою ущільнення 11, в верхній частині порожнини корпусу 1 утворюється повітряна герметична порожнина 12. Ця порожнина не дозволяє змочувати вузлову точку кріплення ультразвукового випромінювача. В разі змочування цієї точки ультразвукова енергія може стікати в рідину і не доходити в повному обсязі до

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні випромінювання 9 випромінюючої накладки 5, зменшуючи ефективність роботи випромінювача. Пристрій готовий до роботи. При подачі високочастотної напруги від електричного генератора коливань на п'єзоелементи випромінювача в останньому збуджуються поздовжні резонансні пружні механічні коливання 10. Збільшена за рахунок конусної форми накладки 5 площа поверхні випромінювання 9 дозволяє зменшити амплітуду коливань випромінювача і зменшити інтенсивність ультразвукових коливань, що вводяться в рідину. При цьому на поверхні випромінювання 9 не виникає кавітація і ультразвукові коливання вводяться в рідину з мінімальними втратами. Введені в рідину ультразвукові коливання відбиваються від торцевої донної поверхні 2 і повертаються до поверхні випромінювання 9. В рідині встановлюється стояча хвиля деформації 13. Поступове зменшення площі поперечного перерізу внутрішньої порожнини корпусу 1 забезпечує поступове зростання інтенсивності ультразвукових коливань в рідині. Максимального значення інтенсивності коливань досягне біля торцевої донної поверхні 2. В зоні донної поверхні рідина буде оброблена сконцентрованою ультразвуковою енергією, яка утворить потужні кавітаційні явища.

В разі виконання внутрішньої порожнини корпусу 1 ступінчастою з плавним переходом ступеню більшого діаметру в ступінь меншого діаметру буде утворено, так званий, рідинний ступінчастий трансформатор коливальної швидкості, який відрізняється високою технологічністю виготовлення, великим значенням коефіцієнта концентрації ультразвукової енергії та дозволяє отримати по довжині ступеню 15 малого діаметру декілька зон з високою концентрацією ультразвукової енергії. Це дозволить інтенсивно обробити рідину декілька разів.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміщення поверхні випромінювання 9 ультразвукового випромінювача на відстані кратній непарній кількості чвертей довжини стоячих ультразвукових хвиль у рідині від місця переходу ступеня більшого діаметру в ступінь меншого діаметру забезпечить мінімальність втрат при потраплянні ультразвукових коливань в ступінь меншого діаметру, а також забезпечить встановлення в рідині стоячої хвилі деформації і утворення чітко виражених вузлів та пучностей, що дозволить отримати в ступені меншого діаметру кавітаційні зони високої інтенсивності.

Утворений дросельними отворами 14 підвищений статичний тиск в порожнині корпусу додатково підвищить інтенсивність кавітаційної обробки рідини.

Нанесені на внутрішній поверхні ступеню малого діаметру 15 дрібні канавки, наприклад, у вигляді дрібної різьби 16 забезпечують затримання в зонах кавітації зародків кавітації, що додатково підвищує рівень кавітації і ефективність обробки рідини.

Запропонований ультразвуковий пристрій дозволяє отримати інтенсивність ультразвукових коливань у 7 разів більше, ніж при конструкції прототипу, тобто досягти інтенсивності коливань майже 140 Вт / см². Така інтенсивна обробка кавітацією здатна нейтралізувати в рідині широкий спектр шкідливих бактерій, вірусів та мікроорганізмів, тим самим досягаючи високого рівня окислювальних процесів у рідині, що насичує її вільними радикалами, тобто активує рідину.

Наприклад, рідке паливо, активоване кавітацією, збільшує енергію згоряння. Це паливо має час для повного згоряння з максимальною ефективністю в камері двигуна згоряння, не відмиває мастильну плівку від

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

парів тертя і майже не виділяється вихлопними газами в атмосферу. Емульсія, отримана в такій системі, довго не розшаровується через інтенсивне перемішування кавітації на молекулярному рівні.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

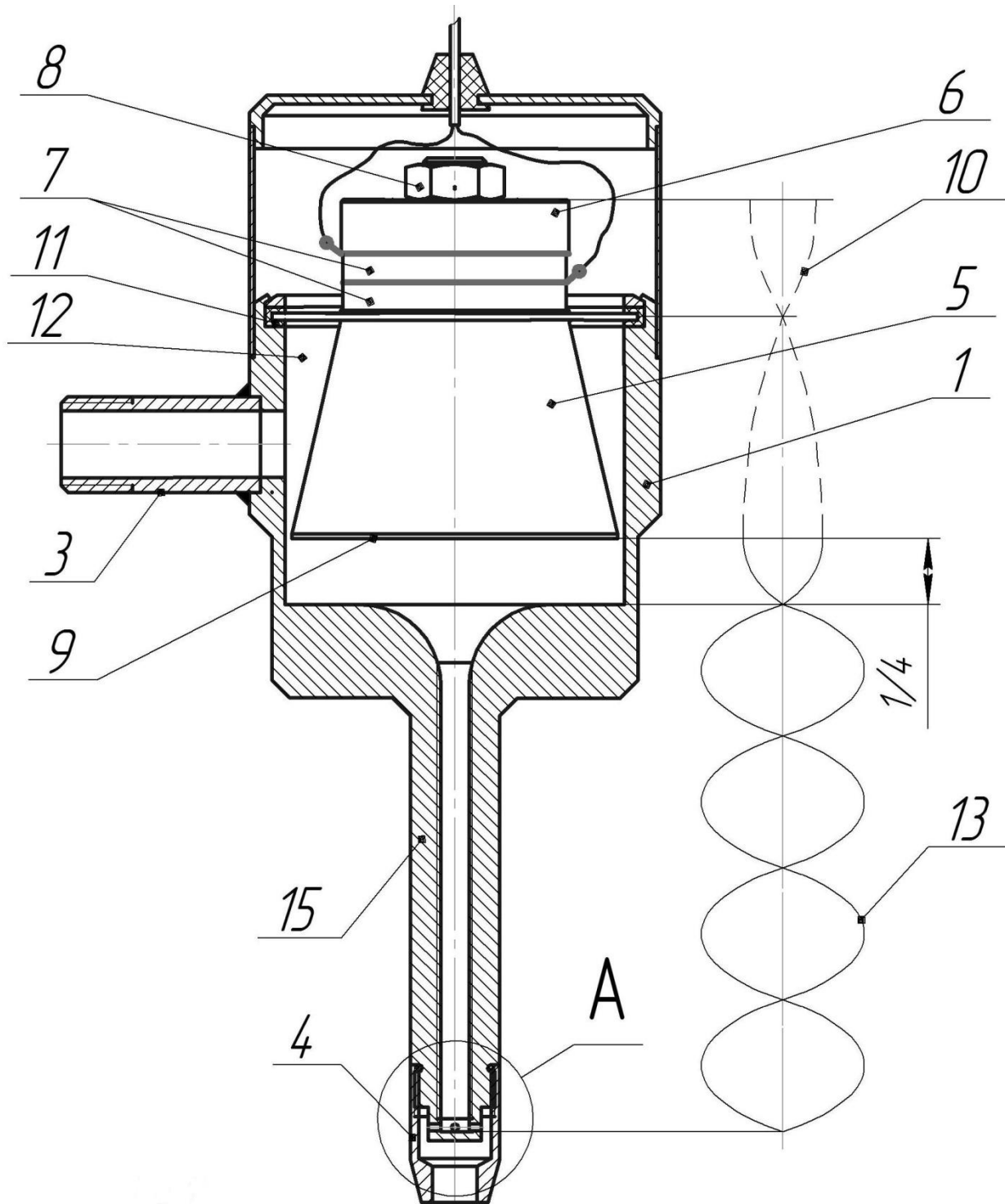


Рис. 2.1. Рідинний концентратор ультразвукової енергії

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

A-A
збільшено

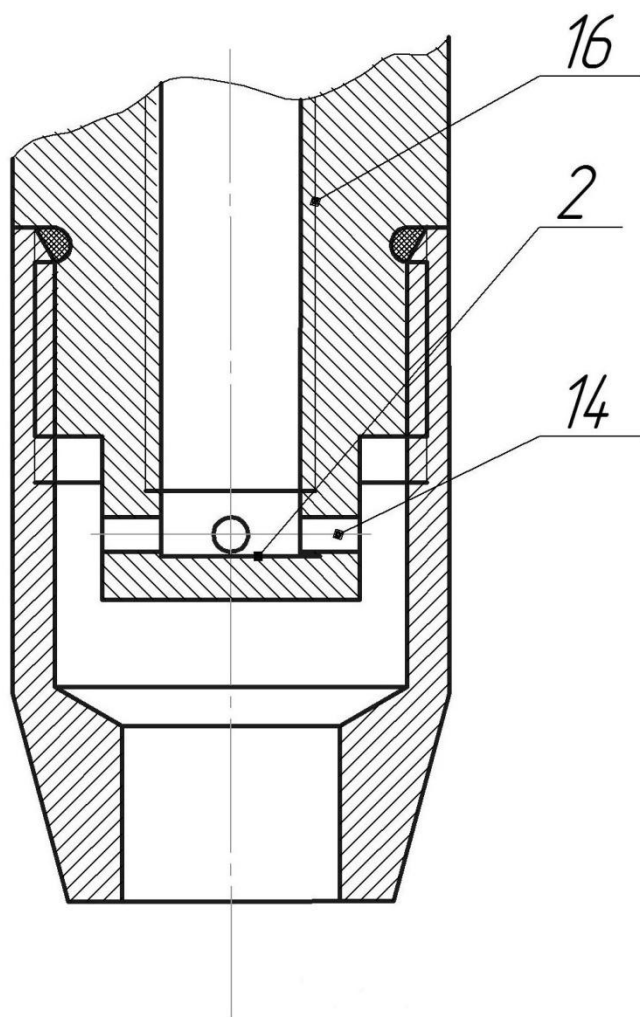


Рис. 2.2. Рідинний концентратор ультразвукової енергії

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ III

3.1 Теоретичні розрахунки

Для виконання процесу ультразвукової кавітації конструюються акустичні резонансні системи, які мають вібраційні поверхні випромінювання в рідині. Для отримання бажаної амплітуди поверхневих коливань, достатньої для руйнування міжмолекулярних зв'язків у рідині, у конструкції концентраторів зазвичай використовуються ультразвукові трансформатори швидкості, які зазвичай використовуються стержневі ступінчастими концентраторами які зроблені на основі 1, 1/2 та 3/4 хвильових акустичних систем. Для забезпечення ефективної роботи концентраторів необхідно розробити обчислювальну техніку, яка дасть змогу координувати коливання п'єзоелектричного перетворювача, трансформатора швидкості та поверхні розбризкування [27, 28, 29].

Коливання поверхні випромінювання збуджуються за допомогою п'єзоелектричного перетворювача, підключеного до випромінюючої підкладки за допомогою швидкісного трансформатора, що дозволяє створювати акустичну систему з 1, 1/2 або 3/4 хвилями.

3.2–Хвильовий ультразвуковий концентратор

Рівняння поздовжніх коливань п'єзоелектричного складового перетворювача в загальному вигляді можна записати як

$$S \frac{\partial^2 U}{dt^2} = c^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial U}{\partial x} \right), \quad (3.1)$$

де U - поздовжнє переміщення; c - швидкість звуку; S - площа поперечного перерізу.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перетворювача, що здійснює гармонічні коливання та має деяку власну частоту, розв'язок рівняння (3.1) може бути отримано у вигляді

$$U(x, t) = U(x)(P \sin \omega t + Q \cos \omega t)$$

Тоді, для накладки, що знижує частоту, та прилеглої до неї п'єзокерамічної шайби можна записати відповідно:

$$U_1(x, t) = \left(A \cos \frac{\omega}{c_1} x + B \sin \frac{\omega}{c_1} x \right) \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.2)$$

та

$$U_2(x, t) = \left(C \cos \frac{\omega}{c_2} x + D \sin \frac{\omega}{c_2} x \right) \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.3)$$

де c_1 і c_2 - швидкість звуку в матеріалі накладки, що знижує частоту, та п'єзокерамічної шайби відповідно.

У відповідності до розрахункової схеми (рис.3.1) граничні умови, щодо 1-хвильової коливальної системи з початком координат у точці O_1 , яка розглядається, можна представити у вигляді

$$U_2 = 0 \quad \text{при } x = 0; \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x = a_1 + a_2; \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_2 \\ E_1 S_1 \frac{\partial U_1}{\partial x} &= E_2 S_2 \frac{\partial U_2}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad \text{при } x = a_2; \quad (3.6)$$

де a_1, E_1, S_1 і a_2, E_2, S_2 - товщина, модуль пружності на розтягування та площа торцевої поверхні накладки, що знижує частоту та п'єзокерамічної шайби відповідно.

При умові (3.4) з рівняння (3.3) випливає

$$C = 0. \quad (3.7)$$

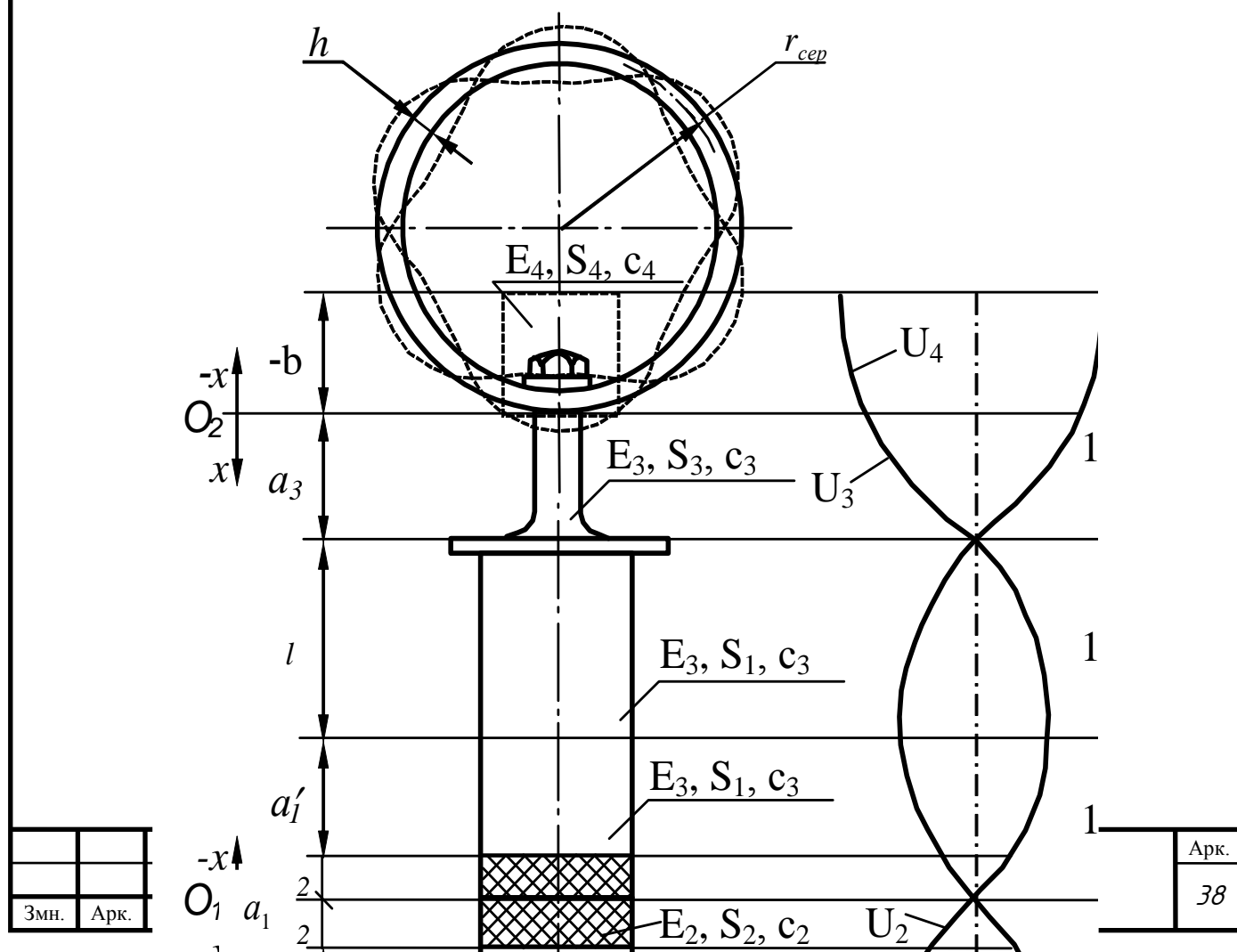
Тоді є можливість записати

$$U_2(x, t) = D \sin \frac{\omega}{c_2} x \sin(\omega t + \varphi). \quad (3.8)$$

Умова (3.5) дозволяє з рівняння (3.2) записати рівність

$$B \cos \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) = A \sin \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2).$$

Звідки
$$B = A \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2). \quad (3.9)$$



Підставивши (3.9) у рівняння (3.2), отримаємо

$$U_1(x, t) = A \left[\cos \frac{\omega}{c_1} x + \sin \frac{\omega}{c_1} x \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \right] \sin(\omega t + \varphi). \quad (3.10)$$

Перша половина граничних умов (3.6) дає можливість з врахуванням рівнянь (3.8) та (3.10) записати

$$D \sin \frac{\omega}{c_2} a_2 = A \left[\cos \frac{\omega}{c_1} a_2 + \sin \frac{\omega}{c_1} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \right].$$

Звідки

$$D = \frac{A}{\sin \frac{\omega}{c_2} a_2} \left[\cos \frac{\omega}{c_1} a_2 + \sin \frac{\omega}{c_1} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \right]. \quad (3.11)$$

З врахуванням другої половини граничних умов (3.6) після диференціювання рівнянь (3.8) та (3.10) буде справедливим запис

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_1 S_1 \frac{A}{c_1} \left[\cos \frac{\omega}{c_1} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) - \sin \frac{\omega}{c_1} a_2 \right] = E_2 S_2 \frac{D}{c_2} \cos \frac{\omega}{c_2} a_2 \quad (3.12)$$

Спільне розв'язання рівнянь (3.11) та (3.12) дозволяє отримати

$$\frac{E_1 S_1 c_2}{E_2 S_2 c_1} = \frac{\operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 \left[\cos \frac{\omega}{c_1} a_2 + \sin \frac{\omega}{c_1} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) \right]}{\cos \frac{\omega}{c_1} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} (a_1 + a_2) - \sin \frac{\omega}{c_1} a_2} . \quad (3.13)$$

Розв'язання рівняння (3.13) відносно a_1 дає вираз

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} \operatorname{arctg} \frac{E_2 S_2 c_1 \operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 + E_1 S_1 c_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} a_2}{E_1 S_1 c_2 - E_2 S_2 c_1 \operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} a_2} - a_2 . \quad (3.14)$$

З урахуванням $\omega = 2\pi f$, де f - частота коливань генератора збудження, рівняння (3.14) дозволяє розрахувати товщину накладки, що знижує частоту, при заданих параметрах її матеріалу та обраному типорозмірі п'єзокерамічної шайби. Якщо друга накладка, що знижує частоту, виконана з того ж самого матеріалу, то $a_1 = a_1'$.

В іншому випадку для визначення a_1' необхідно знову скористуватися формулою (3.14), змінивши в ній E_1 , c_1 відповідно на E_3 , c_3 .

Бувають випадки коли з міркувань конструювання необхідно зміщувати точку можливого закріплення складового п'єзоелектричного перетворювача, використовуючи при цьому несиметричний складовий п'єзоелектричний перетворювач (рис.3.2). Ця необхідність виникає, наприклад, при створенні 3/4

- хвильового ультразвукового концентратора, який дозволяє зменшити габарити конструкції і має тільки одну вузлову точку закріплення.

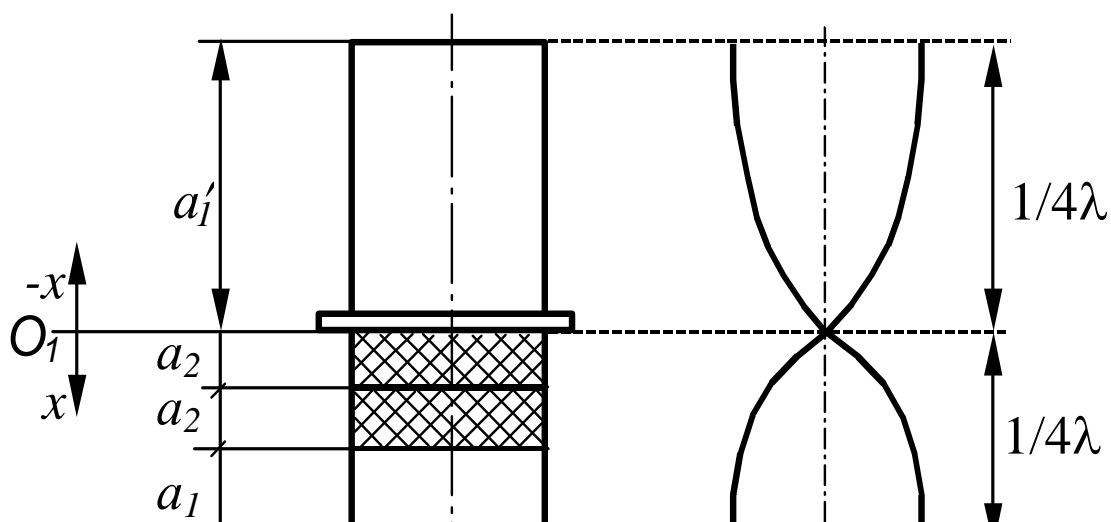


Рис.3.2. Розрахункова схема несиметричного складового п'єзоелектричного перетворювача

У даному випадку для малої накладки, що знижує частоту, вираз (3.14) приймає вигляд

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} \operatorname{arctg} \frac{E_2 S_2 c_1 \operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} 2a_2 + E_1 S_1 c_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} 2a_2}{E_1 S_1 c_2 - E_2 S_2 c_1 \operatorname{ctg} \frac{\omega}{c_2} 2a_2 \operatorname{tg} \frac{\omega}{c_1} 2a_2} - 2a_2. \quad (3.15)$$

Якщо у рівнянні (3.15) покласти $a_2 = 0$, отримаємо

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} \frac{(2n-1)}{2} \pi.$$

Виходячи з цього, для більшої накладки, що знижує частоту, відповідно до розрахункової схеми (рис.3.2) можна записати

$$a_1' = \frac{c_3}{\omega} \frac{(2n-1)}{2} \pi$$

або при $n=1$

$$a_1' = \frac{c_3}{4f} . \quad (3.16)$$

Для розрахунку ультразвукового трансформатора скористаємося загальною формою рівняння поздовжніх коливань (3.1). Оскільки справедливе припущення про те, що концентратор має власну частоту і здійснює гармонійні коливання, розв'язок рівняння (3.1) можна представити у вигляді

$$U_3(x, t) = \left(A \cos \frac{\omega}{c_3} x + B \sin \frac{\omega}{c_3} x \right) \sin(\omega t + \varphi) . \quad (3.17)$$

Тут, з метою спрощення, вважаємо , що концентратор коливань та прилегла до нього накладка п'єзоелектричного перетворювача виготовлені з одного матеріалу. Як правило, для зменшення втрат вони і виконуються як одне ціле.

Розділ IV

4.1 Розрахунок гідравлічного концентратора

Геометрія конічного трансформатора швидкості задається співвідношеннями:

$$\frac{S_1}{S} = \left(\frac{l}{x}\right)^2; \quad \frac{d_1}{d} = \frac{l}{x} \quad (4.1)$$

де: S_1 і d_1 - площа та діаметр в основі конуса, відповідно; l - висота конуса.

За умови нерозривності рідини основне рівняння поздовжніх коливань можна представити у вигляді:

$$S \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (4.2)$$

де: c - швидкість звуку в рідині; U - зсув рідини.

Спільне розв'язання співвідношень (4.1) і (4.2) дозволить записати основне рівняння поздовжніх коливань у вигляді:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - \frac{2}{x} c^2 \frac{\partial U}{\partial x} - c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0 \quad (4.3)$$

Якщо припустити, що гідравлічний трансформатор швидкості має деяку власну частоту і здійснює гармонічні коливання, розв'язання рівняння (4.3) можна шукати у вигляді:

$$U(x, t) = U(x)(A \sin \omega t + B \cos \omega t),$$

де: $\omega = 2\pi f$ - колова частота; f - частота коливань, що випромінюються в рідину.

Скориставшись функціями Бесселя, рівняння (4.3) можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial^2 U}{dx^2} + \frac{2}{x} \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\omega^2}{c^2} = 0;$$

$$U = \left(\frac{A}{x} \sin \frac{\omega}{c} x + \frac{B}{x} \cos \frac{\omega}{c} x \right) \sin(\omega t + \varphi). \quad (4.4)$$

Для рівняння (4.4), відповідно до розрахункової схеми (рис.4.1), можна записати граничні умови:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0 \text{ при } x = l; \quad (4.5)$$

$$U = 0 \text{ при } x = b. \quad (4.6)$$

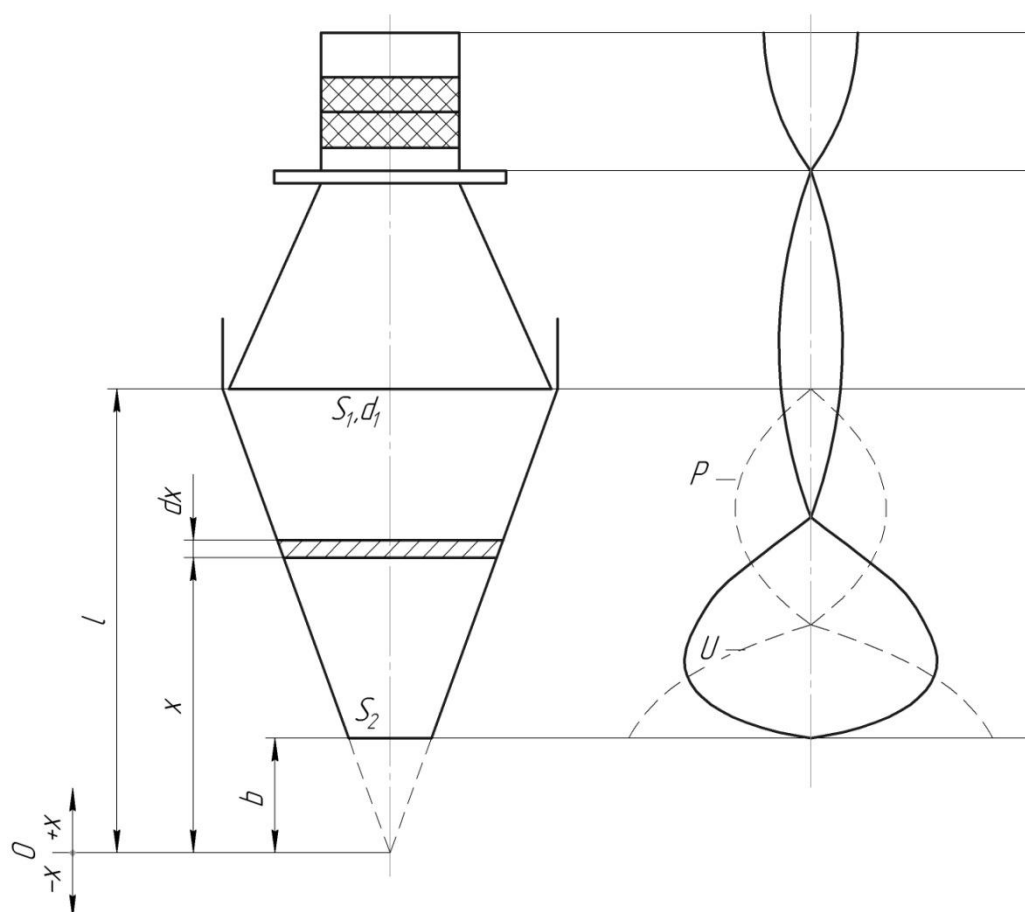


Рис.4.1. Розрахункова схема конічного, гідравлічного трансформатора коливальної швидкості

Врахування граничної умови (4.5) дозволяє із рівняння (4.4) записати:

$$B = A \frac{\frac{\omega}{c} l - \operatorname{tg} \frac{\omega}{c} l}{\frac{\omega}{c} l \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega}{c} l + 1} \quad (4.7)$$

Врахування граничної умови (4.6) дозволяє із рівняння (4.4) отримати:

$$B = A \operatorname{tg} \frac{\omega}{c} b \quad (4.8)$$

Розв'язуючи спільно вирази (4.7) і (4.8), отримаємо:

$$b = \frac{1}{\frac{\omega}{c}} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \frac{\omega}{c} l - \frac{\omega}{c} l}{\frac{\omega}{c} l \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega}{c} l + 1}$$

або

$$b = \frac{c}{2\pi f} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \frac{2\pi f}{c} l - \frac{2\pi f}{c} l}{\frac{2\pi f}{c} l \cdot \operatorname{tg} \frac{2\pi f}{c} l + 1}$$

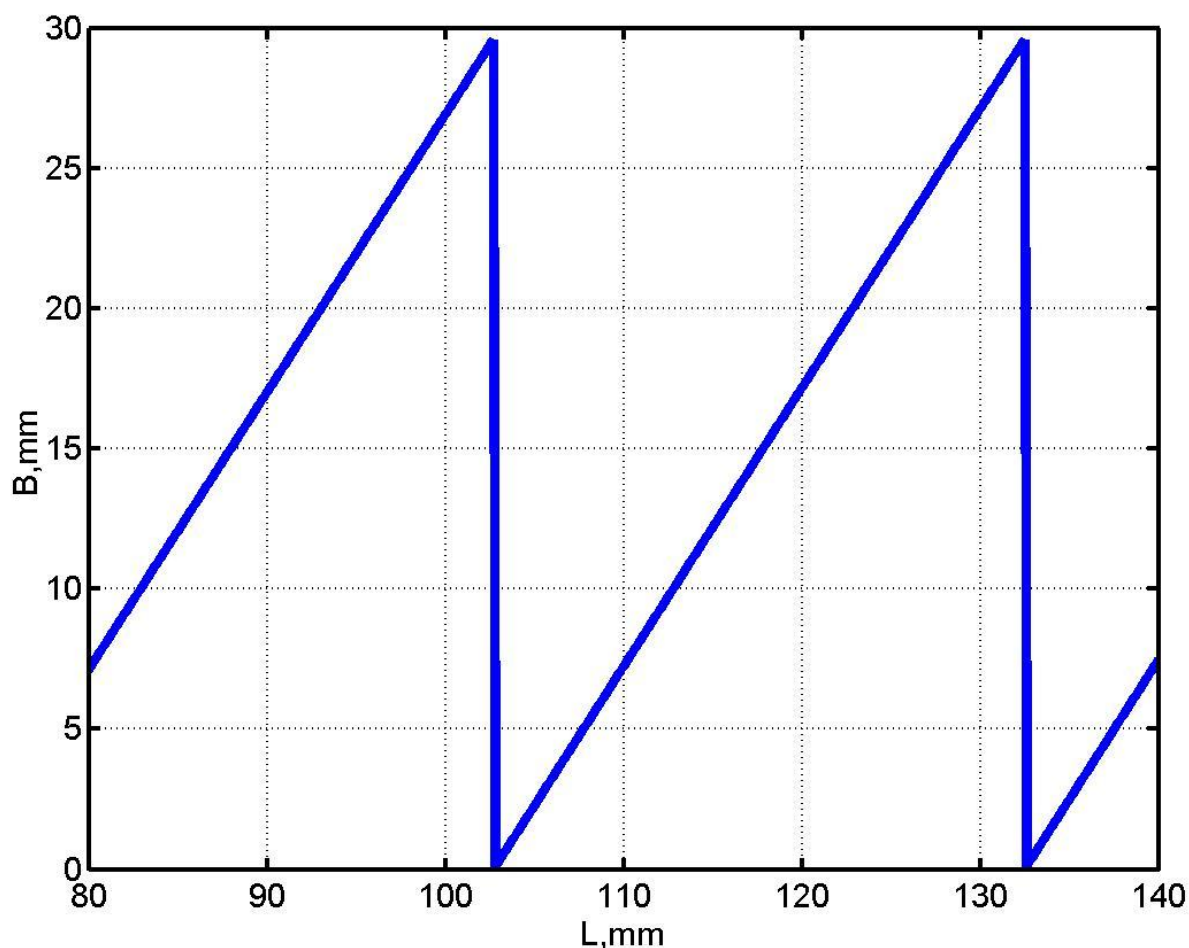


Рис.4.2. Графік залежності довжини b від l

Коефіцієнт підсилення конічного трансформатора коливальної швидкості визначається залежністю

$$K < \sqrt{\frac{S_1}{S_2}},$$

де S_2 - площа малого торця зрізаного конуса трансформатора коливальної швидкості.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Розділ V

5.1 Експериментальні дослідження

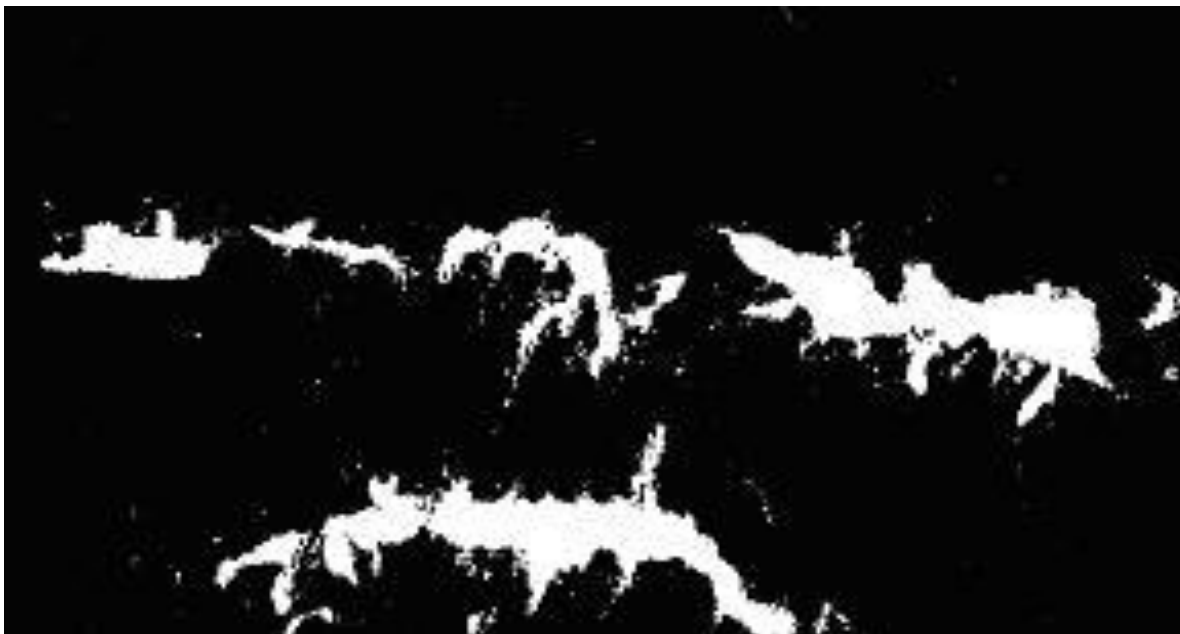
Під час досліджень для візуалізації кавітаційного поля в ультразвуковому стерилізаторі ми використовували листи тонкої алюмінієвої фольги товщиною 10 мкм, поміщаючи їх в об'єм стерилізатора вздовж напрямку розповсюдження хвилі деформації (рис. 5.1). Кавітаційна ерозія призводить до швидкого руйнування фольги у місцях інтенсивної кавітації.

Вимірювання проводились за фіксований проміжок часу 10с. Змінними параметрами були частота модуляції і індекс модуляції, під якими розуміли відношення максимального відхилення несучої частоти до частоти моделюючих коливань. Тестові смужки фольги переводились у цифрові зображення за допомогою сканера.



a)

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



б)



в)

Рисунок 5.1. Зміна конфігурації кавітаційного поля при зміні параметрів частотної модуляції:

а - частота модуляції 500Гц, індекс модуляції 5;

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

б – частота модуляції 100 Гц, індекс модуляції 4;

в – частота модуляції 500 Гц, індекс модуляції 2.

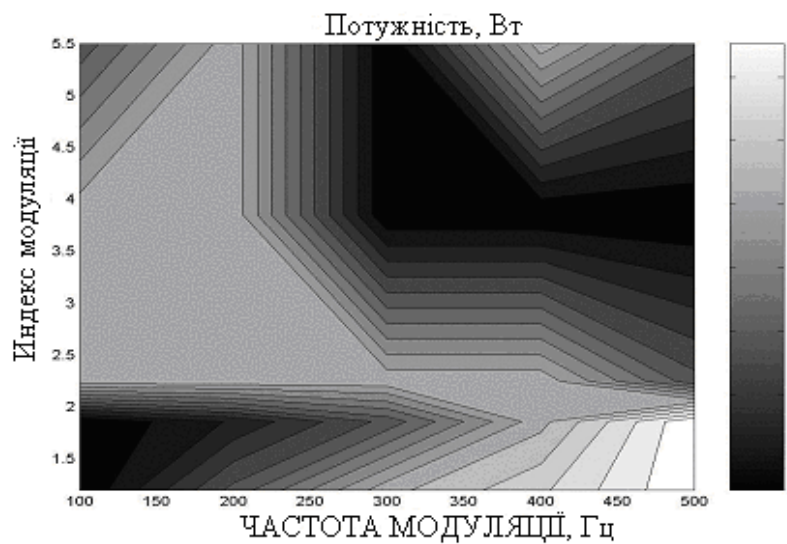
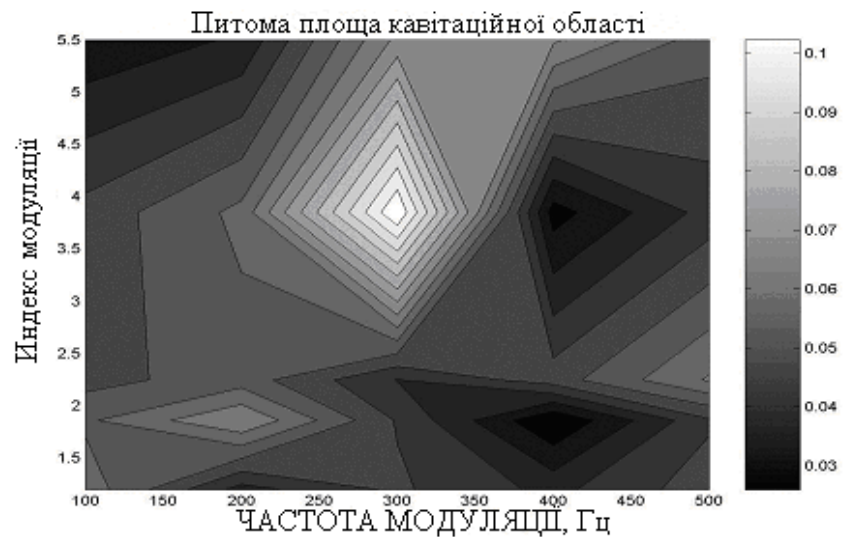
Для дослідження впливу частотної модуляції на конфігурацію кавітаційного поля використовувався ультразвуковий стерилізатор (рис. 5.2), в якому збуджувалось ультразвукове поле за допомогою п'єзоперетворювача з резонансною частотою 26 кГц. В процесі роботи вводилась частотна модуляція з лінійним законом зміни несучої частоти. При цьому фіксувалися основні параметри управляючих сигналів і потужність, що споживана ультразвуковим генератором.

На отриманих відбитках, розмір по висоті яких відповідає глибині реактора, видно, що зі зміною параметрів модуляції картина кавітаційного поля істотно змінюється. Кавітаційне поле може мати вигляд локальної плями з високою інтенсивністю кавітації в зосередженій області (рис. 5.3 а). В цьому випадку має місце нерівномірне неякісне знезараження рідини. Кавітаційне поле може мати вигляд розосередженої близької до рівномірної кавітаційної області (рис. 5.3 в). При цьому рівномірність і якість знезараження рідини підвищується. Світлі ділянки зображення відповідають ділянкам фольги, які зазнали кавітаційну ерозію. Визначення площі зруйнованої фольги, тобто оцінка інтенсивності кавітації, проводилася за допомогою пакета математичного моделювання MatLab шляхом введення поняття питомої площі кавітаційної плями. Питома площа кавітаційної плями розраховувалась як відношення площі зруйнованої ділянки тестової фольги до початкової площі перед початком експерименту. Отримані залежності (рис. 5.4) підтвердили пропозицію про вплив частотної модуляції на конфігурацію кавітаційної області і на площу кавітаційної плями. Експерименти показують, що області

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

максимальної питомої площі кавітаційної плями відповідають області мінімальної потужності, споживаної ультразвуковим генератором. При цьому залежності споживаної потужності і питомої площі кавітаційної плями не збігаються. На графіках можна виділити декілька областей, в яких спостерігається зростання питомої площі кавітаційної плями.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис.3.4. Експериментальні залежності параметрів кавітаційного поля від параметрів частотної модуляції

Дослідження показало, що введення частотної модуляції є ефективним способом впливу на форму кавітаційної області в ультразвукових стерилізаторах. Зміна форми кавітаційного поля відбувається завдяки зміні інтерференційної картини всередині об'єму технологічної рідини (рис. 5.5). Шляхом введення частотної модуляції можна істотно впливати на енергетичні характеристики ультразвукового знезараження з метою оптимізації технологічного процесу. Встановлено, що для розглянутого зразка стерилізатора об'ємом 0,25 літра максимальна ефективність кавітаційної очистки досягається при частоті модуляції 300 Гц і індексі модуляції 4.

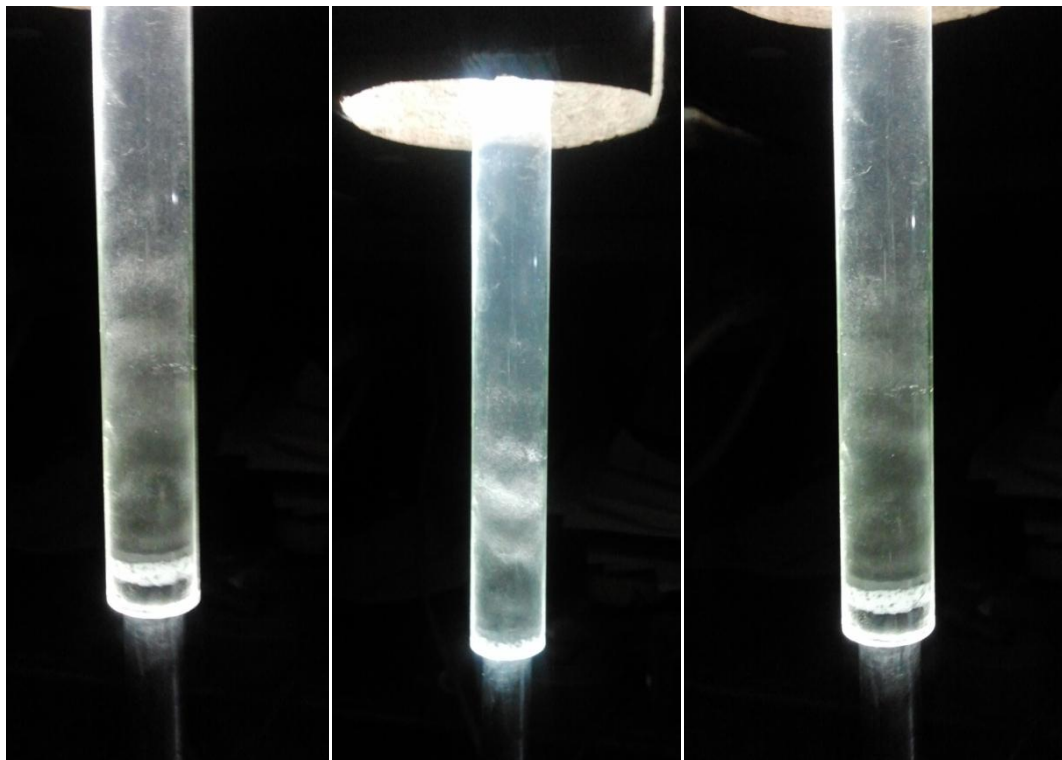


Рис. 5.5. Зміна форми кавітаційного поля при зміні інтерференційної картини всередині об'єму технологічної рідини

Незважаючи на все вищесказане, під час експериментів ми, нажаль, не досягли бажаних результатів. Саме тому було розроблено та розраховано інший, по своїй формі та характеристикам, стерилізатор.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

VI. Технологія машинобудування

6.1. Постановка задачі

Важливим для коректної роботи кожного приладу є правильна технологія виготовлення кожної деталі. Саме тому кожному інженеру важливо розуміти принципи технологій машинобудування.

Метою даного розділу є проектування деталі, яка є на складальних креслениках. Тому розглянемо типовий технологічний процес з виготовлення деталі «Кришка», яка входить до конструкції вібропривода. Вона зображена на рис. 6.1.

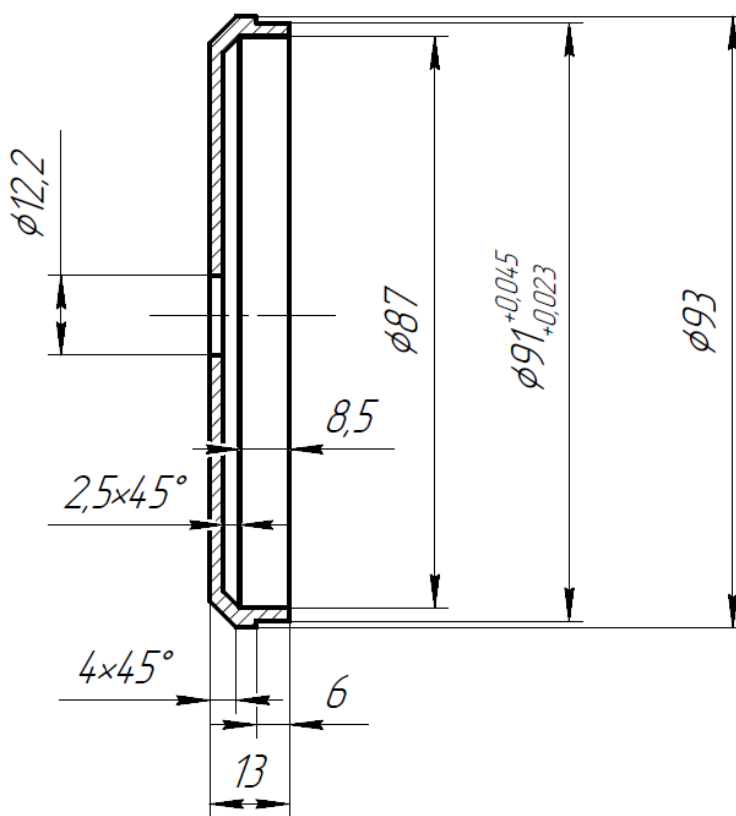


Рисунок 6.1. Кресленик деталі «Кришка».

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кришка виготовляється із дюралюмінія марки Д16Т ГОСТ 4784-97, який має стійкість до корозії, достатні показники міцності. Цей матеріал найчастіше використовують при виготовленні літальних апаратів. Характеристики металу зображені на рис. 6.2.

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей	-
до 0.5	до 0.5	0.3 - 0.9	до 0.1	до 0.15	90.9 - 94.7	3.8 - 4.9	1.2 - 1.8	до 0.25	прочие, каждая 0.05; всего 0.15	Ti+Zr < 0.2

Марка сплава	Металлическая система	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	НВ	K_{CU} , $\frac{KДж}{м^2}$	K_{IC} , $\frac{МН}{м^{3/2}}$	σ_{-1} , МПа
АЛ9М	Al-Si	250	340	3,0	100	80	18	65
АЛ27	Al-Mg	190	360	18	90	150	65	55
АЛ24П	Al-Mg-Zn	372	460	6,0	140	100	24	51
АЛ23-3	Al-Mg-Li	277	380	4,0	121	25	22	51
ВАЛ10	Al-Cu	390	500	4,0	120	100	20	70
Д16Т	Al-Cu-Mg	300	440	20,0	130	250	44	120

Рис.6.2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву Д16Т.

6.2. Вибір та обґрунтування конструкції заготовки

Заготовку обираємо з прокату даного сплаву Д16Т. Заготовка має діаметр $\varnothing 95\text{мм}$ та ширину 15. Метал поставляється у прутках довжиною 4м та діаметром $\varnothing 95$.

Заготовку вибираємо саме тої форми, тому що проектувати штамп для такої деталі – недоцільно. Ескіз заготовки представлений на рис.6.3.

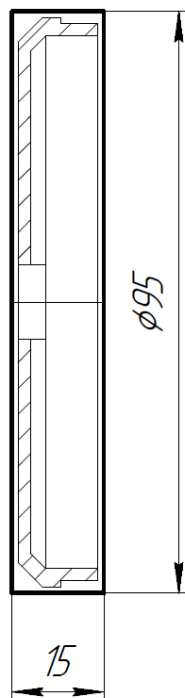


Рисунок 6.3. Ескіз заготовки

6.3. Визначення серійності виробництва.

Тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, що виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності та обсягу випуску виробів.

Однією з основних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій (K_{30}), який визначається як відношення кількості всіх операцій, що виконуються або повинні виконуватись протягом базового відрізка часу до загальної кількості робочих місць.

Коефіцієнт закріплення операцій – це відношення числа всіх різних технологічних операцій, які виконано чи належить виконати протягом місяця, до числа робочих місць. (ДСТУ 2974-95).

Операція – це закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці, над однією деталлю, одним або кількома інструментами, одним або групою робітників (ДСТУ 2391-94).

Робоче місце — це елементарна одиниця виробничої структури, що містить частину простору виробничого підрозділу, яка потрібна для здійснення трудової операції та оснащена матеріально-технічними засобами, використовуваними в процесі праці (ДСТУ 2960-94).

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт закріплення операції розраховується за формулою:

$$K_{з.о} = \frac{\sum_{i=1}^n ОП_i}{\sum_{j=1}^n РМ_j} \quad (6.1)$$

де $K_{з.о}$ - коефіцієнт закріплення операції, розрахований на місяць; $ОП$ - загальна кількість операцій, які виконуються на ділянці на протязі місяця; $РМ$ - кількість робочих місць на ділянці, які виконують відмінні технологічні операції.

Оскільки на даному етапі роботи ще невідомо ні кількість всіх операцій, ні кількість робочих місць, то неможливо визначити коефіцієнт закріплення операцій, та доцільно використовувати аналогові методи визначення типу виробництва. Оскільки відомо що маса деталі складає 1,2 кг, а річний обсяг випуску – 300 деталей на рік, то призначимо тип виробництва згідно наступної таблиці.

Для маси деталі $m=1,2$ кг та річного обсягу випуску $N_p = 300$ штук на рік тип виробництва буде малосерійним.

Таблиця 6.1. Визначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт.		
	легкі, масою до 20 кг.	середні, масою 20...30 кг.	важкі, масою більше 30 кг
Одиничне	до 100	до 10	1...5
Мало серійне	101...500	11...200	6...100
Середньосерійне	501...5000	201...1000	101...300
Великосерійне	5001...50000	1001...5000	301...1000
Масове	більше 50000	більше 5000	більше 1000

Серійне виробництво - тип виробництва, що характеризується одночасним виготовленням на підприємстві обмеженої номенклатури однорідної продукції, випуск якої періодично повторюється протягом тривалого періоду (ДСТУ 2960-94).

Для середньо серійного типу виробництва встановлено, що коефіцієнт закріплення операцій визначається наступним діапазоном $10 \leq K_{з.о} \leq 20$. Для

подальшого вирішення завдань технологічного підготовки виробництва, приймаємо величину коефіцієнта закріплення операцій $K_{zo} = 10$.

Тип виробництва для традиційного машинобудівного виробництва визначає вид верстатного обладнання, інструментального забезпечення, систему верстатних пристроїв та певну систему проектування технологічних процесів.

6.4. Проектування технологічного процесу

Наступним кроком в підготуванні виробництва є написання технологічного процесу, який буває маршрутний, операційний, маршрутно-операційний, які використовуються в залежності від серійності виробництва. Розглянемо маршрутно-операційний технологічний процес.

Оскільки заготовка має циліндричну форму, то оброблення заготовки виконуватиметься в більшості випадків на токарному верстаті. Так як деталь має поверхню $\varnothing 91\text{нб}$, то необхідно використовувати ще й шліфувальне обладнання.

005. Заготівельна

010. Токарна з ЧПК. Обладнання – Токарний верстат з ЧПК HAAS St20.

А. Установити, закріпити, зняти.

010.01. Торцювати поверхню, витримуючи розмір 1.

010.02. Центрувати положення отвору, витримуючи розмір 2.

010.03. Свердлити отвір, витримуючи розмір 1,2.

010.04. Розточити поверхню, витримуючи розміри 3,4.

010.05. Розточити поверхню, витримуючи розміри 5,6.

010.06. Зняти фаску, витримуючи розміри 3,4,5,6.

Ескіз оброблення представлений на рис.6.4.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

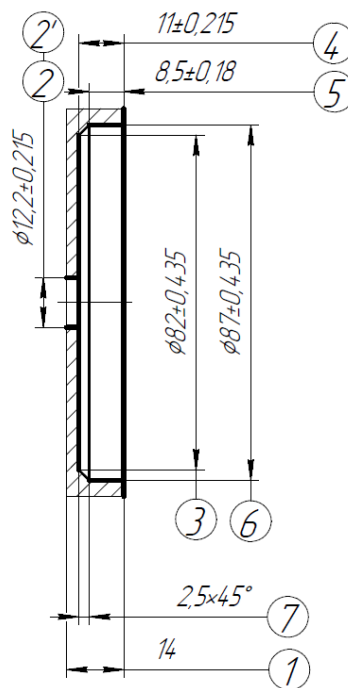


Рисунок 6.4. Ескіз оброблення для операції 010.

015. Токарна з ЧПК. Обладнання – Токарний верстат з ЧПК HAAS St20.

А. Установити, закріпити, зняти.

015.01. Торцювати поверхню, витримуючи розмір 1.

015.02. Точити поверхню, витримуючи розмір 1,2.

015.03. Зняти фаску, витримуючи розміри 1,2,5.

015.04. Точити поверхню, витримуючи розміри 2,3,4.

Ескіз оброблення зображений на рис. 6.5.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

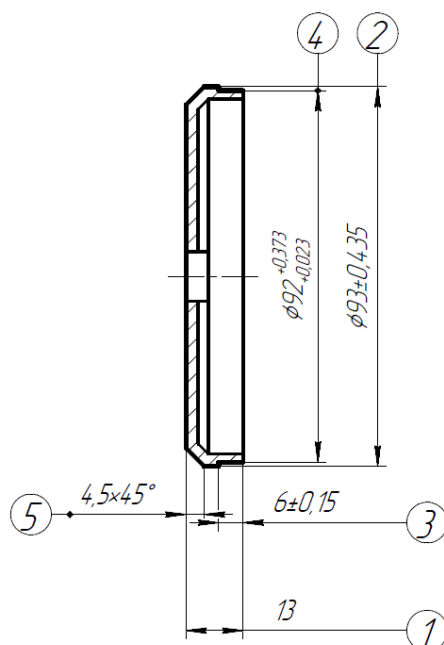


Рисунок 6.5. Ескіз оброблення для операції 015.

020. Шліфувальна з ЧПК. Обладнання – Шліфувальний верстат з ЧПК STUDER S33.

А. Установити, закріпити, зняти.

020.01. Шліфувати поверхню начорно, витримуючи розміри 1'',2.

020.02. Шліфувати поверхню напівчисто, витримуючи розміри 1',2.

002.03. Шліфувати поверхню начисто, витримуючи розміри 1,2.

Ескіз оброблення для операцій 020 зображений на рис. 6.6.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

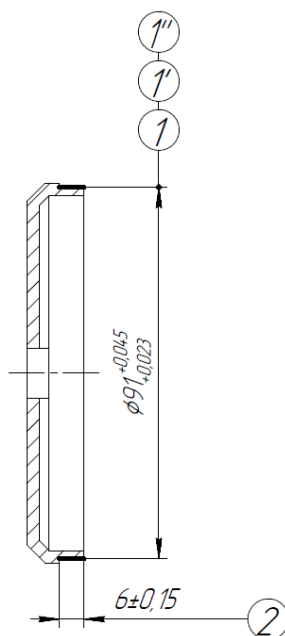


Рисунок 6.6. Ескіз оброблення для операції 020.

025. Мийочна

030. Контрольна

6.5. Визначення режимів різання

Написання технологічного процесу передбачає розрахунок режимів різання, які можна розраховувати розрахунково-аналітичним методом, а можна і аналоговим.

Сутність розрахунково-аналітичного методу полягає в розрахунку режимів різання шляхом використання формул. Цей метод займає багато часу. Та при розрахунках можна допустити помилку.

На практиці використовують аналоговий метод, який поляє у використанні спеціальної літератури, де в залежності від матеріалу заготовки та різального, типу інструменту та переходу можна підібрати параметри різання. Тому

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

скористаємося даними методом. Результати рзрахунків для торніих операцій 010 та 015 наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Режими різання для операцій 010,015.

Операція	Перехід	h	S	V	n	i
010	01	1	0.7	1190	4000	1
	02	1	0,08	20	3183	1
	03	6.1	1.1	155	4000	1
	04	1.5	0.25	352	4000	23
	05	1.25	0.282	1060	4000	2
	06	1.25	0.282	1060	4000	2
015	01	1	0.7	1190	4000	1
	02	1	0.7	1170	4000	1
	03	1.25	0.282	1060	4000	4
	04	0.5	0.269	1160	4000	1

6.6. Висновки

В даному розділі, мною був спроектований технологічний процес виготовлення деталі «Кришка», розроблена конструкція заготовки, розроблений маршрутно-операційний процес та пораховані режими різання.

VII. Заходи з охорони праці

7.1 Електробезпека виробничого приміщення

Електробезпека — система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики [30]

Наведене визначення включає 4 фактори. Два з них (електричний струм і електрична дуга) відносяться до безпосередньо небезпечних.

Чинниками виробничого середовища, які впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є:

1. температура повітря в приміщенні;
2. вологість повітря;
3. запиленість повітря;
4. наявність в повітрі хімічно активних домішок тощо.

1. З підвищенням температури повітря посилюється потовиділення, розкритість пор шкіри, зволожується одяг, взуття. Все це приводить до зниження опору на ділянці включення людини в електричну мережу.

2. Вологість повітря аналогічно впливає на опір на ділянці включення людини в електричну мережу. Крім того, підвищення вологості знижує опір ізоляції електроустановки, яка є одним із важливих чинників електробезпеки.

3. Запиленість повітря, особливо струмопровідним пилом, також негативно впливає на опір ізоляції установки, сприяє переходу напруги на неструмовідні частини установки, коротким замиканням тощо і, таким чином, підвищує небезпеку електротравми.

4. Забруднення повітря хімічно активними речовинами, а також біологічне середовище, що у вигляді плісняви утворюється на електрообладнанні, негативно впливає на стан ізоляції електроустановок, зменшує опір на ділянці включення людини в електромережу за рахунок зниження перехідного опору між струмовідними частинами і тілом людини і, таким чином, підвищує небезпеку ураження електричним струмом. [31]

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Усі приміщення діляться по ступеню ураження людей електричним струмом на три класи:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм.

До чинників підвищеної небезпеки відносяться:

- ♦ температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35°C;
- ♦ відносна вологість більше 75%, але менше насичення;
- ♦ струмопровідна підлога — металева, бетонна, цегляна, земляна тощо;
- ♦ струмопровідний пил;
- ♦ можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт з землею.

До чинників особливої небезпеки електротравм відносяться:

- ♦ відносна вологість, близька до насичення (до 100%);
- ♦ агресивне середовище, що порушує ізоляцію.

Якщо в приміщенні відсутні чинники підвищеної і особливої небезпеки, то воно відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки електротравм.

Приміщення без підвищеної небезпеки - це сухі, безпилі приміщення з нормальною температурою повітря і з ізолюючою (наприклад, дерев'яними) полою, тобто у яких відсутні умови, властиві приміщенням з підвищеною небезпекою і особливо небезпечним.

При наявності в приміщенні одного з чинників підвищеної небезпеки, таке приміщення відноситься до приміщень підвищеної небезпеки електротравм.

		Штика Д.І.			МА 612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

При наявності в приміщенні одночасно двох чинників підвищеної небезпеки або одного чинника особливої небезпеки, приміщення вважається особливо небезпечним.

З наведеного видно, що класифікація приміщень за небезпекою електротравм враховує тільки особливості цих приміщень, стан їх середовища і не враховує електротехнічних параметрів електроустановок.

Категорія приміщень є одним з основних чинників, які визначають вимоги щодо виконання електроустановок, безпечної їх експлуатації, величини напруги, заземлення (занулення) електроустановок. Умови поза приміщеннями порівнюються до особливо небезпечних.

Причини поразки електричним струмом і основні заходи захисту

Головні причини нещасних випадків від дії електричного струму наступні:

- 1) випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- 2) поява напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування - корпусах, кожухах і т. п. - в результаті ушкодження ізоляції і інших причин;
- 3) поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- 4) виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання дроту на землю.[32]

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Система технічних засобів і заходів з електробезпеки. Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки діляться на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляція струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блокування безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованими від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- застосування малих напруг;
- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

З метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції в електроустановках застосовується одночасно декілька з перелічених технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу,

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізолюваної від землі мережі.

ГОСТ 12.1.009-76 виділяє ізоляцію:

- робочу — забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
 - додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
 - подвійну — складається з робочої і додаткової;
- підсилену — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

Система електрозахисних засобів

Електрозахисні засоби - це технічні вироби, що не є конструктивними елементами електроустановок і використовуються при виконанні робіт в електроустановках з метою запобігання електротравм.

ДНАОП 1.1.10-1.07-01 «Правила експлуатації електрозахисних засобів» (в подальшому Правила) — чинний нормативний документ, в якому наведено перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсягів і норм випробувань, порядку застосування і зберігання, комплектування засобами захисту електроустановок та виробничих бригад. Засоби захисту, що використовуються в електроустановках, повинні відповідати вимогам чинних державних стандартів, технічних умов щодо їх конструкції тощо.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні (ізолювальні штанги, кліщі, накладки, діелектричні рукавички тощо), огорожувальні (огородження, щитки, ширми, плакати) та запобіжні (окуляри, каски, запобіжні пояси, рукавиці для захисту рук).

Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові.

Основні ізолювальні електрозахисні засоби розраховані на напругу установки і при дотриманні вимог безпеки щодо користування ними забезпечують захист працівників.

Додаткові електрозахисні засоби навіть при дотриманні функціонального їх призначення не забезпечують надійного захисту працюючих і застосовуються одночасно з основними для підвищення рівня безпеки. У разі застосування основних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб. При захисті працівників від напруги кроку досить використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів.

Система організаційно-технічних заходів і засобів

Основні організаційно-технічні заходи і засоби щодо попередження електротравм регламентуються ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», якими відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на роботодавця.

Згідно з чинними вимогами роботодавець повинен:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок (далі — відповідальний за електрогосподарство);
- створити і укомплектувати відповідно до потреб електротехнічну службу;

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити і затвердити посадові інструкції працівників електротехнічної служби та інструкції з безпечного виконання робіт в електроустановках з урахуванням їх особливостей;

- створити на підприємстві такі умови, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, відповідно до чинних вимог своєчасно здійснювали їх огляд, профілактичні, протиаварійні та приймально-здавальні випробування;

- забезпечити своєчасне навчання і перевірку знань працівників з питань електробезпеки.

На малих підприємствах за неможливості чи недоцільності створення електротехнічної служби власник, на договірних засадах, доручає електротехнічним службам споріднених підприємств або фізичним особам, які мають відповідну підготовку, забезпечення справного стану і безпечної експлуатації електроустановок.

Фахівці служби охорони праці зобов'язані контролювати безпечну експлуатацію електроустановок і повинні мати групу IV з електробезпеки

Працівники, що обслуговують електроустановки повинні мати відповідну професійну підготовку, групу з електробезпеки, підтверджену посвідченням встановленої форми, і не мати медичних протипоказань і вікових обмежень щодо можливості виконання роботи в електроустановках.

Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати при собі посвідчення. За відсутності посвідчення або за прострочених термінів чергової перевірки знань працівник до роботи не допускається. Чергові перевірки знань працівників, що обслуговують електроустановки, проводяться кожні 12 місяців.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За вимогами і заходами безпеки роботи в електроустановках поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах або поблизу них;
- без зняття напруги на безпечній відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, що виконуються зі зняттям напруги, відносяться роботи, що проводяться в електроустановці, в якій зі струмовідних частин знято напругу і доступ в електроустановки, що перебувають під напругою, унеможливлено.

До робіт, що виконуються без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах або на відстанях від цих частин, менших безпечних.

До робіт без зняття напруги на безпечній відстані від струмовідних частин, що перебувають під напругою, належать роботи, при виконанні яких випадкове наближення людей, інструменту чи механізмів на меншу за безпечну відстань до цих частин є неможливим.[33]

7.2 Освітлення виробничого приміщення

Світло – один із суттєвих чинників виробничого середовища, завдяки якому забезпечується зоровий зв'язок працівника з його оточенням. Відомо, що біля 80% всієї інформації про навколишнє середовище надходить до людини через очі – наш зоровий апарат. Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничого травматизму тощо. Так, наприклад, збільшення освітленості від 100 до 1000 люкс при напруженій зоровій роботі приводить до підвищення продуктивності праці на 10–20%, зменшення браку на 20%, зниження кількості нещасних випадків на 30%. Вважають, що 5% травм можуть спричинюватись такою професійною хворобою як робоча міокопія (короткозорість).

Тип джерела освітлення.

Основні вимоги до виробничого освітлення Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення робочих приміщень повинне задовольняти таким умовам:

- рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам для даного виду роботи згідно СНиПП4479/85;

- мають бути забезпечені рівномірність та часова стабільність рівня освітленості у приміщенні, відсутність різких контрастів між освітленістю робочої поверхні та навколишнього простору, відсутність на робочій поверхні різких тіней (особливо рухомих);

- у полі зору предмета не повинно створювати сліпучого блиску;

- штучне світло, що використовується на підприємствах, за своїм спектральним складом має наближатися до природного;

- не створювати небезпечних та шкідливих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпеку ураження струмом, пожеже та вибухонебезпечність);

- бути надійним, простим в експлуатації та економічним.

Джерелом світла обираю газорозрядні лампи низького тиску (люмінесцентні). Люмінесцентні лампи мають великий строк служби (10000 год.), більшу світлову віддачу (50–80 лм/Вт), малу яскравість поверхні, що

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

світиться, кращий спектральний склад світла – ближчий до денного. До недоліків люмінесцентних ламп відноситься: пульсація світлового потоку, нестійка робота при низьких температурах і зниженій напрузі та більш складна схема вмикання. Пульсація світлового потоку негативно впливає на стан зору, а також може викликати стробоскопічний ефект, який полягає у тому, що частини обладнання, що обертаються, здаються нерухомими або такими, що обертаються у протилежному напрямі. Стробоскопічний ефект можна знизити вмиканням сусідніх ламп у різні фази мережі, але повністю усунути його не вдається. Зниження негативної дії пульсуючого світлового потоку здійснюють підвищенням частоти (до 11 кГц) струму живлення, що пов'язано з інерційною характеристикою формування зорового образу.

Відповідно до нормованих значень освітлення з витягу «Будівельних норм і правил» і згідно з технологічним процесом призначаємо норму освітлення V розряду (загальне спостереження за ходом технологічного процесу). Для якого:

Характеристика та розряд зорової роботи	Найменший лінійний розмір об'єкта розпізнавання	Штучне освітлення, лк		Природне освітлення, КПО _н ^{III} , %	
		комбіноване	загальне	верхнє	бокове
Дуже високої точності - II	0,15-0,3	4000-1000	1250-300	7	2,5

1.3. Пожежна безпека виробничого приміщення

Матеріали та речовини, що використані в технологічному процесі.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки робоча речовина - паливо, а всі складальні одиниці металеві, то в технологічному процесі використовуються речовини і матеріали, що можуть становити загрозу пожежовибухонебезпечності.

На основі аналізу речовин, що використані в технологічному процесі, за нормативним документом (ОНТП 24-86), обираємо категорію пожежовибухонебезпечності А (приміщення, в яких вибухонебезпечні речовини і матеріали).

Виходячи з вищесказаного вибраємо потрібний ступінь вогнестійкості будівлі.

Виходячи з категорії пожежовибухонебезпечності вибираємо ступінь вогнестійкості будівель, і для лабораторії, І або ІІ.

Передбачити будівництво стін з незгораємих матеріалів, що мають вогнестійкість 2,5 годин і спираються на фундамент.

Система протипожежного та противибухового захисту спрямована на створення умов обмеження розповсюдження і розвитку пожеж і вибухів за межі осередку при їх виникненні, на виявлення та ліквідацію пожежі, на захист людей та матеріальних цінностей від дії шкідливих та небезпечних факторів пожеж і вибухів. Загальні вимоги цієї системи щодо будівель і споруд регламентуються ДБН В.1.1772:2002. Обмеження розповсюдження та розвитку пожежі, загалом, забезпечується:

- розміщенням вибухо-пожежонебезпечних виробничих і складських будинків, зовнішніх установок, складів горючих рідин, горючих газів з урахуванням переважаючого напрямку вітру, а також рельєфу місцевості;
- потрібною вогнестійкістю будівель та споруд, зниженням пожежної небезпечності будівельних матеріалів, що використовуються у зовнішніх

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

огороджувальних конструкціях, у тому числі оздоблення та облицювання фасадів, а також у покриттях;

- застосуванням конструктивних рішень, спрямованих на створення перешкоди поширенню пожежі між будинками,улаштуванням протипожежних відстаней між будівлями та спорудами;

- встановленням гранично допустимих за техніко-економічними розрахунками площ поверхів виробничих будівель та поверховості будівель і споруд;

- застосуванням конструктивних та об'ємно-планувальних рішень, що спрямовані на створення перешкод поширенню небезпечних факторів пожежі приміщеннями, між приміщеннями, поверхами, протипожежними відсіками та секціями;

- зменшенням пожежної небезпеки будівельних матеріалів і конструкцій, у тому числі оздоблень й облицювань, що застосовуються у приміщеннях та на шляхах евакуації;

- зменшенням вибухопожежної та пожежної небезпеки технологічного процесу, використанням засобів, що перешкоджають розливу та розтіканню горючих рідин під час пожежі;

- застосуванням засобів виявлення пожежі та пожежогасіння, у тому числі автоматичних установок пожежогасіння, а також інших інженерно-технічних рішень, спрямованих на обмеження поширення небезпечних факторів пожежі;

- улаштуванням аварійного відключення та перемикання установок і комунікацій;

- використанням вогнеперешкоджуючих пристроїв в устаткуванні.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист людей у разі пожежі є найважливішим завданням всієї системи протипожежного захисту. Вирішення цього завдання становить велику складність, оскільки має власну специфіку та здійснюється іншими шляхами, ніж захист будівельних конструкцій чи матеріальних цінностей.

1.4. Шум

Тепер відносно використовуваного в роботі діапазону частот 20...100 кГц для кавітаційних процесів в рідині. Вказаний діапазон продиктований технічною доцільністю. Кавітація можлива і на нижчих частотах, тобто частотах звукового діапазону. Ми, наприклад, досліджували подібний спосіб і на частоті 3 кГц. Проте створюваний при цьому шум не дозволяє говорити про можливість якого б то не було промислового застосування. Шум повністю зникає тільки в області 20 кГц.

Верхня межа даного діапазону викликана тим, що із зростанням частоти зменшується довжина стоячої хвилі деформації в тілі диспергатора і його розміри стають занадто маленькими для реального конструктивного виконання. При цьому необхідна точність виготовлення елементів диспергатора виходить за рамки доцільності.

Відносно допустимих рівнів ультразвукової енергії і захисту обслуговуючого персоналу слід зазначити, що руйнівну дію на організм людини вібрації безумовно чинять. Проте тільки за умови, якщо забезпечено ефективне введення коливань в організм, наприклад, через контакт з рідким середовищем. Якщо ж оператор не стикається з вібраційним апаратом, то акустична енергія, що вводиться в організм через повітря, гаситься, наприклад, при частоті 20 кГц в 10.000 разів.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Тому важливо забезпечити відсутність безпосереднього контакту людини з ультразвуковим апаратом. Відносно шкідливості звукового тиску для організму людини слід зазначити, що, наприклад, на частоті 44 кГц санітарні норми допускають звуковий тиск в 140 дБ. У звуковому ж діапазоні частот такий рівень звукового тиску для людини недопустимий.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Висновки

У роботі представлена фізична модель технологічного процесу ультразвукового кавітаційного активування палива.

Розглянуто методику розрахунку гідравлічного концентратора ультразвукової енергії, що здатен реалізувати механізми кавітації палива, створення стійких емульсій і т.д.

Запропонована методика розрахунку дозволяє, задавшись початковими параметрами п'єзокерамічних елементів перетворювача, визначити поздовжні розміри і властивості концентратора та ступеневої швидкості трансформатора з розвиненою поверхнею випромінювання. Методика випробована на резонансних п'єзоелектричних приводах-випромінювачах різної потужності і забезпечує досягнення похибки не більше 4 ... 5%.

Процес ультразвукової кавітації для обробки палива дозволить відтворити хімічні та фізичні процеси, які виникають при додаванні хімічних реагентів або впливі високих температур та тисків, що дозволить підвищити ефективність використання рідкого палива.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Список використаної літератури

1. Rayleigh // Phil. Mag. – 1917. - Vol. 34. - № 200. - 94-97 p.
2. Мак Кормик. Кавитация, обусловленная свободным вихрем, сходящим с несущей поверхности // Труды общества американских инженеров-механиков. Серия Д, Техническая механика, ИП, 1962. - т. 84, № 3. - С. 74-75.
3. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей. – ГИТТЛ, 1951. – 231с.
4. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 688 с.
5. Kermeen R.W., Mac Graw Y.T., Parkin B.R. Mechanism of Cavitation Inception and the related Scale effects Problem, Transactions of the ASME, 77. - 1955.
6. Daily Y.W., Johnson V. Turbulence and Boundary Layer Effects on Cavitation from Gas Nuclei, Cavitation in Hydrodynamic.. – London. - 1956.
7. Flynn H.G. Physics of acoustic cavitation in liquids. In “Physical Acoustics”, v. 1B. W. Mason (Ed.), N.Y., 1964. (Перевод: Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях. - В кн.: Физическая акустика. / Под ред. У. Мезона. - Т.1, часть Б.- М.: Мир, 1967. - С.7-138 .
8. Биркгоф Г., Царантонелло Э. Струи, следы и каверны. – М.: Мир, 1964. – 466 с.
9. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. – М.: Наука, 1979. – 656 с.
10. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Глав. ред. И. П. Голямина. - М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
11. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация. Кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Часть 1.- К.: Полиграфкнига, 1997. – 839 с.
12. Яхно О.М., Коваль А.Д., Пищенко Л.И., Паскалов В.П., Яске Н.Н. Кавитация в переработке нефти.- К.: Світ, 1999. – 263 с.
13. Кувшинов Г.И., Прохоренко П.П. Акустическая кавитация у твердых поверхностей / Под ред. В.К. Кедринского. – Мн.: Навука і техніка, 1990. – 112 с.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Blake F.G. Tehn. Mem., Acoustics Res. Lab. Harvard Univ. Cambridge, 9, 1949.
15. Александров Ю.А., Воронков Г.С., Горбунков В.М., Делоне Н.Б., Нечаев Ю.И. Пузырьковые камеры. - М.: Госатомиздат, 1963. – 340 с.
16. Whyberew W.E., Kinzer G.D., Gunn R. Electrification of small air bubbles in water. - J. Geophys. Res., 57, 4, 453, 1952.
17. Акуличев В.А. Гидратация ионов и кавитационная прочность воды // Акустический журнал. – 1966. - 12, 2. - С.160-166.
18. Harvey E.N., ets. On Cavity Formation in Water, Journal of Applied Physics, 1947. - v. 18. - 162 p.
19. Lieberman D. Radiation-induced cavitation. – Phys. Fluids, 1959. -2, 4. - 466.
20. Minnaert M. On musical air-bubbles and sound of running water. – Phil. Mag., 1933. - 16,7. - 235.
21. Crum L.A., Hansen G.M. Growth of air bubbles in tissue by rectified diffusion. // Phys. Med. Biol. - 1982.- V.27. - 413-417 p.
22. Агранат Б.А., Башкиров В.И., Китайгородский Ю.И. Ультразвуковая очистка. - В кн.: Физика и техника мощного ультразвука, том.ІІІ. Физические основы ультразвуковой технологии / Под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. - С. 165-253.
23. Батраков В. ХимЭффекты ультразвука/Институт общей и неорганической химии РАН [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <http://www.chem.msu.su/rus/journals/chemlife/uzvuk.html>
24. Дослідження кількості автомобілів на планеті [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://mmr.net.ua/autoworld/news/94527>
25. Луговской А.Ф., Чухраев Н.В. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях.-К. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007-244с.
26. Эльпинер И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. - М., Физматиз, 1963 -430с.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Луговской А.Ф., Мовчанюк А.В., Гришко И.А. Оценка методов обеззараживания воды. – Вестник НТУУ «КПИ», Серия машиностроение, Вып.52. – Київ, 2008, с.103-111.
28. Луговской А.Ф. Расчет ультразвуковых диспергаторов с составными пьезоэлектрическими преобразователями // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение. – 1998. - Вып.33. - С.291-296.
29. Луговський О.Ф., Чорний В.І. Методика розрахунку ультразвукового диспергатора з радіально-згинними коливаннями до систем підготовки паливно-повітряної суміші // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение.- 1999. - Вип. 34. - С. 79 – 87.
30. Луговской А.Ф., Колосов А.Е. Методика расчета ультразвукового кавитационного устройства с излучающей пластиной // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. - №1. - С. 59-67.
31. ГОСТ 12.1.009-76.ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
32. Ткачук К.Н., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. — К.: Основа, 2006 — с. 314-342.
33. Юдин Е. Я. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов.— М.: Машиностроение, 1983, - с. 280-295.
34. Лесенко Г.Г., Паньковский Ю.С., Петров В.Н. Инженерно-технические средства безопасности труда. — 2-е изд. перераб. и доп. — К. «Техніка», 1986 — с. 63-98.
35. Баграмов Л.Г., Колокатов А.М. Расчет режимов резания при фрезеровании. Методические рекомендации по курсу "Технология конструкционных материалов". Часть 1. Торцовое фрезерование. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000. 40 с.
36. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 /Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985 г. 496 с., ил.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Кабаков М.Г., Стесин С.П. Технология производства гидроприводов.- М.:
Машиностроение, 1974. - 192 с.

		Штика Д.І.			МА612.ДП.00.001.ПЗ	Арк.
		Луговський О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82